



**DISERTASI**

**MODEL SAMBUNGAN ANTAR PELAT BETON PRACETAK  
PADA SISTEM HALF SLAB PRECAST DUA ARAH**

**Oleh :  
Djoko Irawan  
3113301003**

**Pembimbing :  
Prof. Ir. Priyo Suprobo, MS., PhD  
Data Iranata, ST., MT., PhD.**

**PROGRAM DOKTOR  
BIDANG KEAHLIAN STRUKTUR  
JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2017**



**DISERTASI**

**MODEL SAMBUNGAN ANTAR KOMPONEN BETON PRACETAK  
PADA SISTEM *HALF SLAB PRECAST* DUA ARAH**

Oleh :  
Djoko Irawan  
3113301003

Pembimbing :  
Prof. Ir. Priyo Suprobo, MS., PhD.  
Data Iranata, ST., MT., PhD.

**PROGRAM DOKTOR  
BIDANG KEAHLIAN STRUKTUR  
JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2017**

**Disertasi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat  
memperoleh gelar  
Doktor (DR.)**

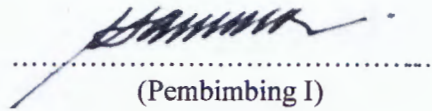
**di  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**oleh :  
Djoko Irawan  
NIM. 3113301003**

**Periode Wisuda : September 2017**

Disetujui oleh :

1. Prof. Ir. Priyo Suprobo, MS. PhD.  
NIP. 19590911 198403 1 001

  
.....  
(Pembimbing I)

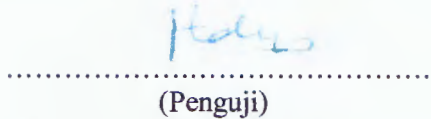
2. Data Iranata, ST., MT., PhD.  
NIP. 19800430 200501 1 002

  
.....  
(Pembimbing II)

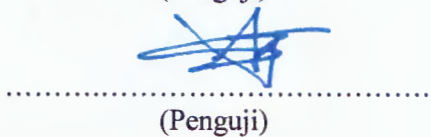
3. Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka  
NIP. 19500403 197603 1 003

  
.....  
(Penguji)

4. Ir. Handayanu, MSc., PhD.  
NIP. 19630728 198803 1 001

  
.....  
(Penguji)

5. Prof. Agoes Soehardjono M.D., MS.  
NIP. 1956042 198303 1 005

  
.....  
(Penguji)

  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Dekan.  
  
Ir. Purwanita Setijanti, MSc., PhD.  
NIP. 195904271985032001



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT, karena atas berkah dan limpahan rahmat-Nyalah penulis dapat menyelesaikan Disertasi ini.

Disertasi ini adalah sebagai salah satu persyaratan yang harus dikerjakan oleh setiap mahasiswa Teknik Sipil ITS untuk menyelesaikan masa studi tingkat Doktor (S-3), Disertasi ini sudah diseminarkan dalam ujian Disertasi tertutup dan terbuka.

Penulis menyadari bahwa dalam Disertasi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu sangat diharapkan kritik atau saran yang bersifat membangun demi semakin sempurnanya Disertasi ini.

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar - besarnya kepada :

- Bapak Prof. Ir. Priyo Suprobo, MS., Ph.D. selaku dosen Pembimbing Utama / Promotor yang telah berkenan meluangkan waktu pembimbingan dan pengarahan untuk terwujudnya Disertasi ini.
- Bapak Data Iranata, ST., MT., Ph.D. selaku Pembimbing / Co-Promotor yang telah meluangkan waktu pembimbingan dan pengarahan secara detail untuk penyelesaian Disertasi ini.
- Ibu Endah Wahyuni, ST., MSc., PhD. selaku Ketua Program Studi S2 / S3 Jurusan Teknik Sipil FTSP – ITS dan Ir. Faimun, MSc., PhD. yang telah memberikan kritik dan masukan atas tulisan Disertasi ini sehingga layak untuk diujikan.
- Bapak Trijoko, ST., MT., PhD. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS dan Bapak Budi Suswanto, ST., MT., PhD. yang selalu mendukung dan mendorong agar Disertasi ini segera dapat diselesaikan.
- PT. Adhi Persada Beton, PT. Krakatau Engineering dan PT. Tensindo yang telah membantu menyediakan material untuk bahan penelitian.

- Kepala Laboratorium Struktur dan Kepala Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan yang telah memberikan izin menggunakan peralatan laboratorium untuk melakukan penelitian.
- Saudara Ridwan, Bazar, Supriyadi, Arif, Pudjianto Pak Akad Pak Hardjo, dan Pak Sumardji yang banyak membantu dalam pelaksanaan penelitian di Laboratorium.
- Ibu dan Ibu mertua saya, Istri saya Ir. Herda Dwi Suryanti, anak – anak saya, Osa Kakandara, ST. dan Sarah Sarita Kakandara serta menantu saya Erick Azof, S.Kesos. dan cucu saya Jarir Nahl Ahmad Azof yang menjadi penyemangat saya dalam menyelesaikan studi S3 ini.

Semoga Disertasi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Surabaya, April 2017

Penulis

# MODEL SAMBUNGAN ANTAR KOMPONEN BETON PRACETAK PADA SISTEM *HALF SLAB PRECAST* DUA ARAH

## ABSTRAK

Nama Mahasiswa : Djoko Irawan  
NRP : 3113301003  
Pembimbing Utama : Prof. Ir. Priyo Suprobo, MS., PhD.  
Co – Pembimbing : Data Iranata, ST., MT., PhD.

*Half Slab Precast System* biasanya dilaksanakan untuk pelat lantai yang berperilaku sebagai pelat satu arah (*one way slab*). *Half slab precast* adalah panel pelat yang terdiri dari komponen pracetak di bagian lapis bawah dan komponen overtopping di bagian lapis atas. *Half slab precast* ini sering digunakan oleh perencana dan pelaksana untuk melakukan perubahan dari sistem monolit menjadi sistem *half slab precast*. Bila sistem *half slab precast* tersebut dilakukan pada panel pelat dua arah (*two way slab*) masih banyak menimbulkan masalah penurunan kekuatan dan terjadi retak – retak.

Permasalahan yang perlu dijawab dalam penelitian ini adalah solusi yang dapat mencegah kerusakan retak – retak pada *half slab precast* bila digunakan sebagai pelat dua arah (*two way slab*). Untuk itu perlu diciptakan sistem sambungan yang dapat menjamin kekuatan tarik antara komponen pracetak akibat beban lentur, sehingga komponen pracetak maupun komponen *over topping* secara bersama – sama dapat berperilaku sebagai pelat dua arah tanpa menimbulkan kerusakan yang berarti.

Penelitian disertasi ini dimulai dari melakukan simulasi model awal dengan melakukan analisis menggunakan *Finite Element Method (FEM)* terhadap beberapa usulan model sambungan antara komponen pelat pracetak pada sistem *half slab precast*, guna mendapatkan bentuk dan dimensi benda uji yang baik, mudah dilaksanakan dan murah. Model sambungan tulangan yang diusulkan dalam penelitian ini terdiri dari model sambungan tulangan berbentuk melingkar segi-4 (*rectangular connection*) dan segi-3 (*triangular connection*). Benda uji yang dibuat berdasarkan hasil simulasi model awal selanjutnya diuji di laboratorium. Analisa dengan *FEM* dan analitis juga dilakukan untuk keperluan validasi. Pada akhirnya diambil kesimpulan tentang perilaku *half slab precast* dua arah, baik yang menggunakan *rectangular connection* maupun *triangular connection*.

Hasil dari penelitian disertasi ini menjelaskan bahwa *half slab precast* dua arah yang menggunakan *rectangular connection* mempunyai kemampuan memikul beban retak sekitar 10% lebih kecil dibandingkan dengan pelat sistem monolit. Sedangkan untuk *triangular connection* mempunyai kemampuan memikul beban retak 18% lebih kecil dibandingkan dengan pelat sistem monolit. Berdasarkan analisis *FEM*, perbedaan kemampuan memikul beban retak tersebut

bisa diatasi dengan menaikkan mutu beton komponen pracetak sebesar minimal 30% lebih besar dari mutu beton *over topping*-nya. Sehingga kekakuan dari *half slab precast* bisa mendekati sama dengan pelat sistem monolit.

Kata Kunci : **Half Slab Precast, Pelat Satu Arah (*One Way Slab*), Pelat Dua Arah (*Two Way Slab*), Sambungan. Beton Pracetak, *Rectangular Connection, Triangular Connection*.**



# **CONNECTION MODELS BETWEEN PRECAST CONCRETE COMPONENT OF TWO-WAY HALF SLAB PRECAST SYSTEM**

## **ABSTRACT**

Name : Djoko Irawan  
NRP : 3113301003  
Promotor : Prof. Ir. Priyo Suprobo, MS., PhD.  
Co – Promotor : Data Iranata, ST., MT., PhD.

Half slab precast system has been commonly used for concrete slabs that behaves as a one way slab. Half slab precast is a panel slab consisting of precast components at the bottom layer and over topping component at the top layer. However, for two way slab system, the strength capacity of the half slab precast system will be decreased due to the discontinuity between precast concrete components. This discontinuity will generate initial cracking that led to the early failure condition.

The main problem in this study that necessary to be solved is how to prevent the initial crack that occurs between the precast component. Therefore, it is necessary to develop the connection between precast concrete components that have adequate capacity to resist the acting moment for the two way slab systems. Hence, both precast concrete and over topping can act together and behave as a two way slab without causing any significant damage.

In order to get the best shape and dimensions of specimen as well as easy to construct and inexpensive, the study started by preliminary analysis using Finite Element Method (FEM) for several proposed alternative models of connection between precast components of half slab precast system. Based on the results, the model of connections are proposed in this study consist of rectangular connection and triangular connection. The specimens are made based on analysis result of proposed models and then tested in laboratory. Analysis using FEM and theoretically also be done for validation purposes. In the end of research, it can be concluded about that use rectangular and triangular connection.

The results of this dissertation research explains that the half slab precast using a rectangular connection has cracking load approximatelay 10% smaller than the monolithic slab system and the triangular connection has cracking load approximatelay 18% smaller than the monolithic slab system. Based on FEM analysis, differences of cracking load can be minimize by increasing concrete compressive strength for precast components by at least 30% higher than quality of over topping component. Hence, the strength capacity of two way half slab precast approximately equal to the monolithic slab system.

**Keywords : Half Slab Precast, One Way Slab, Two Way Slab, Precast Concrete, Rectangular Connection, Triangular Connection.**

***Halaman ini sengaja dikosongkan***

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR .....	1
ABSTRAK .....	iii
ABSTRACT .....	v
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Permasalahan .....	7
1.3 Tujuan Penelitian .....	8
1.4 Kontribusi dan Orisinalitas Penelitian .....	9
1.5 Batasan Masalah .....	10
1.6 Hipotesa .....	11
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI .....	13
2.1 Tinjauan Pustaka .....	13
2.1.1 Lekatan dan Geseran antara Beton Lama dengan Beton Baru .....	13
2.1.2 Lekatan antara Tulangan dan Beton .....	20
2.1.3 Pengaruh Material terhadap Lendutan .....	20
2.1.4 Momen Retak dan Lendutan .....	22
2.1.5 Analisis Perhitungan Momen dan Lendutan pada Pelat Beton Dua Arah .....	22
2.1.6 Model Sambungan antar Pelat Pracetak Sistem Half Slab Precast pada Usulan Penelitian Sebelumnya .....	24
2.1.7 Penelitian Pendahuluan tentang Sambungan antar Pelat Pracetak Sistem Half Slab Precast yang Dilakukan .....	26
2.1.8 Cara Pembebanan untuk Pengujian Lantai Pelat Beton. ....	30
2.1.9 Penggunaan Analisis Elemen Hingga. ....	31
2.2 Dasar Teori .....	33
2.2.1. Konsep model sambungan antar komponen pracetak pada two way half slab precast .....	35
BAB III METODOLOGI .....	39
3.1. Diagram Alir .....	39
3.2. Kegiatan Tinjauan Pustaka .....	40

3.3.	Identifikasi Permasalahan .....	40
3.4.	Simulasi Awal.....	40
3.5.	Mutu Bahan Komponen Benda Uji Rencana.....	44
3.6.	Pembuatan Benda Uji .....	45
3.7.	Persiapan Pengujian.....	45
3.8.	Evaluasi Hasil Pengujian .....	49
3.9.	Analisis FEM Pelat dengan Model Sambungan .....	50
3.10.	Validasi Hasil Analitis dan FEM terhadap Hasil Percobaan .....	58
3.11.	Analisis FEM terhadap Half Slab Precast 2 m x 2 m dan 10 m x 10 m akibat Beban Merata Monotonik .....	58
BAB IV PELAKSANAAN DAN HASIL PENELITIAN .....		59
4.1.	Persiapan Kegiatan Penelitian .....	59
4.2.	Persiapan Alat Uji.....	64
4.3.	Pembuatan Benda Uji .....	65
4.4.	Pengujian Material Baja Tulangan .....	70
4.5.	Pengaturan Percobaan (Experiment Setup) .....	71
4.6.	Proses Pengujian di Laboratorium.....	74
4.7.	Lokasi Kegiatan Penelitian .....	76
4.8.	Hasil Percobaan di Laboratorium .....	77
4.9.1.	Pemilihan Benda Uji untuk Evaluasi.....	80
4.9.2.	Pengamatan Beban Retak dan Lendutan Hasil Pngujian Laboratorium (Percobaan) .....	81
4.9.3.	Pengamatan Regangan Tulangan Bawah Lapis Luar (Regangan BL) .....	83
4.9.4.	Pengamatan Regangan Tulangan Bawah Lapis Dalam (Regangan BD) ..	84
4.9.5.	Pengamatan Regangan Tulangan Atas Lapis Luar (Regangan AL) .....	86
4.9.6.	Pengamatan Regangan Tulangan Atas Lapis Dalam (Regangan AD) .....	88
4.9.7.	Pengamatan Regangan Beton Sisi Bawah (Regangan BTN).....	89
4.9.8.	Pengamatan Deformasi Horizontal Beton Sisi Bawah di Tengah Bentang Arah-X (LVDT-X).....	91
4.9.9.	Pengamatan Deformasi Horizontal Beton Sisi Bawah di Tengah Bentang Arah-Z (LVDT-Z).....	93
4.9.10.	Pengamatan Deformasi Horizontal pada Batas Sambungan antar Komponen Pracetak Sisi Kanan (Regangan $R_{kn}$ dan $R_{kr}$ ) .....	94

4.9.11. Pengamatan Perkembangan Retak di Tengah Bentang Sisi Bawah Pelat..	95
4.9.12. Hasil Uji Silinder Core Drill .....	105
BAB V PERHITUNGAN DENGAN FEM DAN ANALITIS .....	107
5.1. Analisis FEM Pelat Berdimensi 2 m x 2 m untuk Validasi Hasil Percobaan dengan Pembebanan Loading - Unloading.....	107
5.1.1. Pemodelan .....	107
5.1.2. Input Data Material .....	113
5.1.3. Input Concrete Damage Plasticity (CDP) .....	114
5.1.4. Input Data Beban.....	121
5.1.5. Input Data Boundary Condition .....	121
5.1.6. Input Data Interaksi Beton Lama dengan Beton Baru .....	122
5.1.7. Perhitungan Hasil Analisis FEM.....	123
5.1.8. Lendutan Hasil Analisis FEM .....	123
5.1.9. Regangan Baja Tarik dan Tekan Hasil Analisis FEM .....	126
5.1.10. Regangan Tulangan Tarik .....	128
5.1.11. Regangan Tulangan Tekan.....	130
5.1.12. Regangan Beton Sisi Bawah Hasil Analisis FEM .....	133
5.2. Perhitungan Analitis Pelat Beton Monolit Berdimensi 2 m x 2 m.....	134
5.2.1. Perhitungan Analitis Beban Retak Pelat Beton Monolit Dua Arah Berdimensi 2 m x 2 m .....	135
5.2.2. Perhitungan Analitis Lendutan Pelat Beton Dua Arah Berdimensi 2 m x 2 m Akibat Beban Retak Uji (Percobaan).....	136
5.2.3. Perhitungan Analitis Regangan Pada Beton Sisi Bawah Pelat Berdimensi 2 m x 2 m.....	138
5.2.4. Perhitungan Analitis Regangan Tulangan Tarik Pelat Beton Berdimensi 2 m x 2 m.....	138
5.2.5. Perhitungan Analitis Regangan Tulangan Tekan Pelat Beton Berdimensi 2 m x 2 m Akibat Beban Retak Uji (Percobaan).....	139
5.3. Pembahasan Hasil Percobaan Terhadap Hasil FEM dan Analitis.....	139
5.4. Perhitungan Analitis Benda Uji untuk Pembebanan Merata Monotonik.....	144
5.5. Analisis FEM Benda Uji untuk Pembebanan Merata Monotonik.....	148
5.5.1. Analisis FEM Pelat Uji untuk Pembebanan Merata Monotonik dengan Mutu Material Variasi-1 .....	149

5.5.2.	Analisis FEM Pelat Uji untuk Pembebanan Merata Monotonik dengan Mutu Material Variasi-2 .....	153
5.5.3.	Analisis FEM Pelat Uji untuk Pembebanan Merata Monotonik dengan Mutu Material Variasi-3 .....	156
5.5.4.	Pembahasan Lendutan dan Beban Retak Hasil Analisis FEM untuk Pelat Uji yang Dibebani Merata Monotonik.....	159
5.5.5.	Pembahasan Regangan Tulangan Tarik Hasil Analisis FEM untuk Pelat Uji yang Dibebani Merata Monotonik.....	160
5.5.6.	Pembahasan Tegangan Tulangan Tarik Hasil Analisis FEM untuk Pelat Uji yang Dibebani Merata Monotonik.....	160
5.6.	Perhitungan Analitis Pelat Berdimensi 10 m x 10 m untuk Pembebanan Merata Monotonik .....	162
5.7.	Analisis FEM Pelat Berdimensi 10 m x 10 m untuk Pembebanan Merata Monotonik.....	165
5.8.	Pembahasan Lendutan dan Beban Retak Hasil Analisis FEM untuk Berdimensi 10 m x 10 m yang Dibebani Merata Monotonik .....	174
5.9.	Pembahasan Regangan Tulangan Tarik Hasil Analisis FEM untuk Pelat Berdimensi 10 m x 10 m yang Dibebani Merata Monotonik .....	175
5.10.	Pembahasan Tegangan Tulangan Tarik Hasil Analisis FEM untuk Berdimensi 10 m x 10 m yang Dibebani Merata Monotonik .....	175
5.11.	Analisis Perhitungan Kapasitas Beban Layan untuk Pelat Uji berdimensi 2m x 2m .....	177
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....		183
6.1.	Kesimpulan .....	183
6.1.1	Perilaku Lendutan, Beban Retak, Beban Layan dan Beban Runtuh .....	183
6.1.2	Regangan Beton Sisi Bawah untuk Setiap Model Pelat .....	184
6.1.3	Pola Retak.....	184
6.1.4	Regangan pada Tulangan Tarik .....	185
6.1.5	Perbandingan Hasil Percobaan degan Hasil Analisis .....	185
6.2.	Saran .....	185
DAFTAR PUSTAKA.....		187
LAMPIRAN .....		191
Lampiran 1 : Hasil pengujian silinder beton uji .....		191
Lampiran 2 : Hasil pengujian baja tulangan .....		193

Lampiran 3 : Hasil pengujian core drill .....	195
Lampiran 4 : Hasil pengujian di laboratorium .....	197
Lampiran 5 : Hasil analisis FEM .....	245
DAFTAR RIWAYAT HIDUP .....	251

***Halaman ini sengaja dikosongkan***



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Model One Way Slab .....	1
Gambar 1.2	Kasus model sambungan antar komponen pracetak .....	2
Gambar 1.3	Kerusakan yang diduga akibat model sambungan antar komponen pracetak yang kurang baik .....	3
Gambar 1.4	Komponen pracetak dibuat utuh dua arah .....	4
Gambar 1.5	Penambahan balok anak di bawah komponen pracetak .....	4
Gambar 1.6	Penampang Pelat Pracetak Standar .....	5
Gambar 2.1	Cara Pengujian Shin dan Wang (2010) .....	14
Gambar 2.2	Cara Pengujian Geser penelitian Gengying, Xie dan Xiong (2001) .....	16
Gambar 2.3	Hasil Penelitian Geser Friksi beberapa Peneliti .....	17
Gambar 2.4	Gambar kapasitas penampang pomposit (PCI 2004) .....	19
Gambar 2.5	Grafik hubungan lendutan dengan mutu beton pada pembebanan 250 kg/m <sup>2</sup> (Wiyono, 2013) .....	21
Gambar 2.6	Grafik hubungan lendutan dengan mutu beton pada pembebanan 400 kg/m <sup>2</sup> (Wiyono, 2013) .....	21
Gambar 2.7	Model Pembebanan pada Pelat Dua Arah .....	23
Gambar 2.8	Pelat sistem Pracetak dengan mengkasakan komponen Pracetak (Society for Studies on the use of Precast Concrete Netherlands, 1987 ) .....	24
Gambar 2.9	Pelat sistem Pracetak dengan Penghubung Geser (Society for Studies on the use of Precast Concrete Netherlands, 1987) .....	25
Gambar 2.10	Sambungan pelat Pracetak yang sering dilaksanakan di lapangan (Society for Studies on the use of Precast Concrete Netherlands, 1987).....	25
Gambar 2.11	Pelat sistem Pracetak dengan Penghubung Geser (Society for Studies on the use of Precast Concrete Netherlands, 1987) .....	25
Gambar 2.12	Sambungan pelat pracetak model-1 pada penelitian pendahuluan (Irawan, 2012). .....	27
Gambar 2.13	Sambungan pelat pracetak model-2 pada penelitian pendahuluan (Irawan, 2012) .....	27
Gambar 2.14	Sambungan pelat pracetak model-3 pada penelitian pendahuluan (Irawan, 2012) .....	28
Gambar 2.15	Sambungan pelat pracetak model-2 yang berhasil di lapangan ....	29
Gambar 2.16	Sambungan pelat pracetak model-2 yang gagal di lapangan .....	29
Gambar 2.17	Beban siklik berdasarkan urutan waktu (ACI 437R-03) .....	31
Gambar 2.18	Skematik beban – lendutan (ACI 437R-03) .....	31
Gambar 2.19	Elemen batang 32	

Gambar 2.20	Elemen dua dimensi .....	32
Gambar 2.21	Elemen tiga dimensi .....	32
Gambar 2.22	Panel pelat satu arah .....	33
Gambar 2.23	Model pelat monolit dua arah .....	34
Gambar 2.24	Model half slab precast dua arah .....	34
Gambar 2.25	Permasalahan yang harus dipecahkan / diselesaikan .....	36
Gambar 2.26	Sketsa model sambungan antara pelat beton pracetak .....	36
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian .....	39
Gambar 3.2	Benda uji penelitian pendahuluan .....	41
Gambar 3.3	Pelat monolit model-A (3-Dimensi) .....	42
Gambar 3.4	Potongan melintang penulangan pelat monolit model-A .....	42
Gambar 3.5	Pelat dengan sambungan model-B (3-Dimensi) .....	42
Gambar 3.6	Potongan melintang penulangan pelat pracetak model - B .....	42
Gambar 3.7	Pelat dengan sambungan model – C (3-Dimensi) .....	43
Gambar 3.8	Potongan melintang penulangan pelat pracetak model - C .....	43
Gambar 3.9	Frame Uji .....	46
Gambar 3.10	Transducer / LVDT .....	47
Gambar 3.11	Strain gauge Baja .....	47
Gambar 3.12	Data Logger .....	47
Gambar 3.13	Strain gauge ring Plate .....	47
Gambar 3.14	Strain gauge beton .....	47
Gambar 3.15	Pengukur Beban, hydraulic pump dan jack .....	47
Gambar 3.16	kema Pengujian Tampak Depan .....	49
Gambar 3.17	Hubungan lendutan – beban dari hasil pengujian dengan satu pasang beban siklik loading – unloading .....	50
Gambar 3.18	Diagram alir kegiatan analisis FEM .....	51
Gambar 3.19	Tipikal kurva tegangan-regangan beton akibat beban tekan uniaksial (Kmiecik dan Kamiński, 2011) .....	53
Gambar 3.20	Tipikal kurva tegangan-regangan beton akibat beban tarik uniaksial (Kmiecik dan Kamiński, 2011) .....	54
Gambar 3.21	Tipikal kurva tegangan-regangan beton akibat beban tekan uniaksial (Pavlovic dkk., 2013) .....	55
Gambar 4.1	Pelat model-A (monolit) dengan tulangan rangkap .....	59
Gambar 4.2	Denah pelat dan posisi tumpuan .....	60
Gambar 4.3	Tampak samping pelat dan posisi tumpuan .....	60
Gambar 4.4	Benda uji model-B .....	62
Gambar 4.5	Benda uji model-C .....	63
Gambar 4.6	Frame uji dan portal crane .....	64
Gambar 4.7	Proses pembengkokan tulangan. ....	65

Gambar 4.8	Perakitan tulangan pada pelat monolit dan half slab .....	65
Gambar 4.9	Pengupasan permukaan tulangan .....	66
Gambar 4.10	Pemasangan strain gauge dan perlindungannya .....	66
Gambar 4.11	Penataan benda uji sebelum dilakukan pengecoran .....	67
Gambar 4.12	Pengecoran komponen pracetak .....	68
Gambar 4.13	Penataan komponen pracetak dan pemasangan tulangan overtopping .....	68
Gambar 4.14	Half slab precast setelah overtopping .....	68
Gambar 4.15	Silinder beton uji .....	69
Gambar 4.16	Alat uji universal testing machine 5000 kg .....	70
Gambar 4.17	Pengaturan Benda Uji Model-A (Monolit), Beban Uji dan Transducer / LVDT .....	71
Gambar 4.18	Pengaturan Pengujian Beda Uji Model-B, Beban Uji dan Transducer / LVDT .....	72
Gambar 4.19	Pengaturan benda uji model-C, beban uji dan transducer / LVDT .....	73
Gambar 4.20	Benda uji setelah diletakkan pada posisinya .....	74
Gambar 4.21	Detail penempatan hydraulic jack .....	74
Gambar 4.22	Detail penempatan LVDT .....	74
Gambar 4.23	Grafik Beban uji loading – unloading rencana dalam satuan (psi) .....	75
Gambar 4.24	Grafik Beban uji loading – unloading rencana dalam satuan (ton) .....	76
Gambar 4.25	Posisi Strain gauge yang dipasang .....	78
Gambar 4.26	Posisi Transducer V, X dan Z pada benda uji model-A (Monolit) .....	78
Gambar 4.27	Posisi transducer V, X, Z serta strain gauge Rkn dan Rkr pada benda uji half slab model-B .....	79
Gambar 4.28	Posisi transducer V, X, Z serta strain gauge Rkn dan Rkr pada benda uji half slab model-C .....	79
Gambar 4.29	Grafik beban vs lendutan model-A2 hasil percobaan .....	81
Gambar 4.30	Grafik beban vs lendutan model-B2 hasil percobaan .....	81
Gambar 4.31	Grafik beban vs lendutan model-C3 hasil percobaan .....	81
Gambar 4.32	Grafik beban vs regangan BL model-A3 hasil percobaan .....	83
Gambar 4.33	Grafik regangan BL vs beban untuk model-B2 hasil percobaan .....	84
Gambar 4.34	Grafik beban vs regangan BL model-C3 hasil percobaan .....	84
Gambar 4.35	Grafik beban vs regangan BD model-A2 hasil percobaan .....	85
Gambar 4.36	Grafik beban vs regangan BD model-B3 hasil percobaan .....	85
Gambar 4.37	Grafik beban vs regangan BD model-C2 hasil percobaan .....	85
Gambar 4.38	Grafik beban vs regangan BD model-A2 hasil percobaan .....	87
Gambar 4.39	Grafik beban vs regangan AL model-B2 hasil percobaan .....	87
Gambar 4.40	Grafik beban vs regangan AL model-C3 hasil percobaan .....	87
Gambar 4.41	Grafik beban vs regangan AD model-A2 hasil percobaan .....	88
Gambar 4.42	Grafik beban vs regangan AD model-B2 hasil percobaan .....	88
Gambar 4.43	Grafik beban vs regangan AD model-C3 hasil percobaan .....	89
Gambar 4.44	Grafik beban vs regangan BTN model-A2 hasil percobaan .....	90

Gambar 4.45	Grafik beban vs regangan BTN model-B2 hasil percobaan .....	90
Gambar 4.46	Grafik beban vs regangan BTN model-C2 hasil percobaan .....	90
Gambar 4.47	Grafik beban vs deformasi LVDT-X model-A3 hasil percobaan ..	91
Gambar 4.48	Grafik beban vs deformasi LVDT-X model-B3 hasil percobaan ..	92
Gambar 4.49	Grafik beban vs deformasi LVDT-X model-C3 hasil percobaan ...	92
Gambar 4.50	Grafik beban vs deformasi LVDT-Z model-A3 hasil percobaan ..	93
Gambar 4.51	Grafik beban vs deformasi LVDT-Z model-B3 hasil percobaan ...	93
Gambar 4.52	Grafik beban vs deformasi LVDT-Z model-C2 hasil percobaan ..	94
Gambar 4.53	Grafik beban vs regangan Rkn model-B3 hasil percobaan .....	95
Gambar 4.54	Grafik beban vs regangan Rkr model-C3 hasil percobaan .....	95
Gambar 4.55	Area tangkapan kamera model-A (percobaan) .....	96
Gambar 4.56	Area tangkapan kamera model-B (percobaan) .....	96
Gambar 4.57	Area tangkapan kamera model-C (Percobaan) .....	97
Gambar 4.58	Perkembangan retak di tengah bentang sisi bawah pelat model-A	97
Gambar 4.59	Perkembangan retak di tengah bentang sisi bawah pelat model-B	98
Gambar 4.60	Perkembangan retak di tengah bentang sisi bawah pelat model-C	98
Gambar 4.61	Pola retak pelat model A, B dan C pada beban retak awal .....	100
Gambar 4.62	Pola retak pelat model A, B dan C pada beban 18.53 ton .....	101
Gambar 4.63	Pola retak pelat model A, B dan C pada beban 24.54 ton .....	102
Gambar 4.64	Pola retak pelat model A, B dan C pada beban Runtuh .....	103
Gambar 4.65	Model keruntuhan untuk pelat model A, B dan C pada beban runtuh .....	104
Gambar 4.66	Pengambilan sampel core drill .....	105
Gambar 5.1	Pemodelan benda uji model-A .....	108
Gambar 5.2	Pemodelan penulangan pelat model-A .....	108
Gambar 5.3	Model meshing benda uji model-A .....	109
Gambar 5.4	Pemodelan overtopping benda uji model B .....	109
Gambar 5.5	Pemodelan pelat pracetak benda uji model-B .....	110
Gambar 5.6	Pemodelan penulangan benda uji model-B .....	110
Gambar 5.7	Model meshing benda uji model-B .....	111
Gambar 5.8	Pemodelan overtopping benda uji model-C .....	111
Gambar 5.9	Pemodelan pelat pracetak benda uji model-C .....	112
Gambar 5.10	Pemodelan penulangan benda uji model-C .....	112
Gambar 5.11	Model meshing benda uji model-C .....	113
Gambar 5.12	Interaksi antara compression stress dan inelastic strain untuk beton dengan $f_c'' = 49.2$ MPa. ....	115
Gambar 5.13	Interaksi antara inelastic strain dan compression damage parameter untuk beton dengan $f_c'' = 49.2$ MPa .....	116
Gambar 5.14	Interaksi antara compression stress dan inelastic strain untuk beton dengan $f_c'' = 46.9$ MPa .....	117

Gambar 5.15	Interaksi antara compression damage parameter dan inelastic strain untuk betaon dengan $f_c'' = 46.9$ MPa .....	117
Gambar 5.16	Diagram Interaksi tension stress vs cracking strain beton $f_c'' = 49.2$ MPa .....	119
Gambar 5.17	Diagram Interaksi tension stress vs cracking strain beton $f_c'' = 46.9$ MPa .....	119
Gambar 5.18	Diagram Interaksi tension damage vs cracking strain beton $f_c'' = 49.2$ MPa .....	120
Gambar 5.19	Diagram Interaksi tension damage vs cracking strain beton $f_c'' = 46.9$ MPa .....	120
Gambar 5.20	Model pembebanan analisis FEM .....	121
Gambar 5.21	Diagram tegangan penampang half slab precast .....	122
Gambar 5.22	Lendutan benda uji model-A hasil analisis FEM .....	123
Gambar 5.23	Lendutan benda uji model-B hasil analisis FEM .....	124
Gambar 5.24	Lendutan benda uji model-C hasil analisis FEM .....	124
Gambar 5.25	Hubungan lendutan vs beban benda uji model-A hasil analisis FEM .....	124
Gambar 5.26	Hubungan lendutan vs beban benda uji model-B hasil analisis FEM .....	125
Gambar 5.27	Hubungan lendutan vs beban benda uji model-C hasil analisis FEM .....	125
Gambar 5.28	Distribusi regangan pada tulangan untuk benda uji model-A hasil analisis FEM .....	127
Gambar 5.29	Distribusi regangan pada tulangan untuk benda uji model-B hasil analisis FEM .....	127
Gambar 5.30	Distribusi regangan pada tulangan untuk benda uji model-C Hasil analisis FEM .....	127
Gambar 5.31	Regangan BL vs beban benda uji model-A hasil analisis FEM ..	128
Gambar 5.32	Regangan BL vs beban benda uji model-B hasil analisis FEM ..	128
Gambar 5.33	Regangan BL vs beban benda uji model-C hasil analisis FEM ..	128
Gambar 5.34	Regangan BD vs beban benda uji model-A hasil analisis FEM .	129
Gambar 5.35	Regangan BD vs beban benda uji model-B hasil analisis FEM ..	129
Gambar 5.36	Regangan BD vs beban benda uji model-C hasil analisis FEM ..	130
Gambar 5.37	Regangan AL vs beban benda uji model-A hasil analisis FEM ..	130
Gambar 5.38	Regangan AL vs beban benda uji model-B hasil analisis FEM ..	131
Gambar 5.39	Regangan AL vs beban benda uji model-C hasil analisis FEM ..	131
Gambar 5.40	Regangan AD vs beban benda uji model-A hasil analisis FEM .	132
Gambar 5.41	Regangan AD vs beban benda uji model-B hasil analisis FEM .	132
Gambar 5.42	Regangan AD vs beban benda uji model-C hasil analisis FEM .	132
Gambar 5.43	Regangan BTN vs beban benda uji model-A hasil analisis FEM	133
Gambar 5.44	Regangan BTN vs beban benda uji model-B hasil analisis FEM	134
Gambar 5.45	Regangan BTN vs beban benda uji Model-C hasil analisis FEM	134

Gambar 5.46	Posisi konsentrasi tegangan pada baja tulangan tarik untuk pelat model-A akibat beban terpusat hasil analisis FEM .....	142
Gambar 5.47	Posisi konsentrasi tegangan pada baja tulangan tarik untuk pelat model-B akibat beban terpusat hasil analisis FEM .....	142
Gambar 5.48	Posisi konsentrasi tegangan pada baja tulangan tarik untuk pelat model-C akibat beban terpusat hasil analisis FEM .....	142
Gambar 5.49	Model pembebanan merata monotonik untuk benda uji 2m x 2m model A, B dan C .....	149
Gambar 5.50	Grafik lendutan benda uji model-A, B dan C akibat beban merata monotonik dengan mutu beton variasi-1 .....	150
Gambar 5.51	Grafik lendutan benda uji model-A, B dan C akibat beban merata monotonik dengan mutu beton variasi-2 .....	154
Gambar 5.52	Grafik lendutan benda uji model-A, B dan C akibat beban Merata monotonik dengan mutu beton Variasi-3 .....	157
Gambar 5.53	Posisi konsentrasi tegangan pada baja tulangan tarik untuk pelat model-A akibat beban merata hasil analisis FEM .....	160
Gambar 5.54	Posisi konsentrasi tegangan pada baja Tulangan tarik untuk pelat model-B akibat Beban merata hasil analisis FEM .....	161
Gambar 5.55	Posisi konsentrasi tegangan pada baja tulangan tarik untuk pelat model-C akibat beban merata hasil analisis FEM .....	161
Gambar 5.56	Model-D monolit dan penulangan .....	166
Gambar 5.57	Overtopping dan komponen pracetak model-E .....	166
Gambar 5.58	Penulangan model-E .....	167
Gambar 5.59	Overtopping dan komponen pracetak Model-F .....	167
Gambar 5.60	Penulangan model-F .....	167
Gambar 5.61	Grafik lendutan Pelat Model-D, E dan F akibat beban merata monotonik dengan mutu beton variasi-2 .....	168
Gambar 5.62	Grafik lendutan Pelat Model-D, E dan F akibat beban merata monotonik dengan mutu beton variasi-3 .....	172
Gambar 5.63	Posisi konsentrasi tegangan pada baja tulangan tarik untuk pelat model-D akibat beban merata hasil analisis FEM .....	175
Gambar 5.64	Posisi konsentrasi tegangan pada baja tulangan tarik untuk pelat model-E akibat Beban merata hasil analisis FEM .....	176
Gambar 5.65	Posisi konsentrasi tegangan pada baja tulangan tarik untuk pelat model-F akibat beban merata hasil analisis FEM .....	176
Gambar 5.66	Gambar Pelat Monolit 2m x 2m dan Penulangannya .....	178
Gambar 5.67	Posisi beban layan terhadap beban retak pelat model A .....	180
Gambar 5.68	Posisi beban layan terhadap beban retak pelat model B .....	181
Gambar 5.69	Posisi beban layan terhadap beban retak pelat model C .....	181

Gambar L4.1	Grafik beban vs lendutan benda uji model-A1 .....	199
Gambar L4.2	Grafik beban vs lendutan benda uji model-A2 .....	199
Gambar L4.3	Grafik beban vs lendutan benda uji model-A3 .....	199
Gambar L4.4	Grafik beban vs lendutan benda uji model-B1 .....	200
Gambar L4.5	Grafik beban vs lendutan benda uji model-B2 .....	200
Gambar L4.6	Grafik beban vs lendutan benda uji model-B3 .....	200
Gambar L4.7	Grafik beban vs lendutan benda uji model-C1 .....	201
Gambar L4.8	Grafik beban vs lendutan benda uji model-C2 .....	201
Gambar L4.9	Grafik beban vs lendutan benda uji model-C3 .....	201
Gambar L4.10	Grafik beban vs regangan BL benda uji model-A1 .....	204
Gambar L4.11	Grafik beban vs regangan BL benda uji model-A2 .....	204
Gambar L4.12	Grafik beban vs regangan BL benda uji model-A3 .....	204
Gambar L4.13	Grafik beban vs regangan BL benda uji model B-1 .....	205
Gambar L4.14	Grafik beban vs regangan BL benda uji model B-2 .....	205
Gambar L4.15	Grafik beban vs regangan BL benda uji model B-3 .....	205
Gambar L4.16	Grafik beban vs regangan BL benda uji model-C1 .....	206
Gambar L4.17	Grafik beban vs regangan BL benda uji model-C2 .....	206
Gambar L4.18	Grafik beban vs regangan BL benda uji model-C3 .....	206
Gambar L4.19	Grafik beban vs regangan BD benda uji model-A1 .....	209
Gambar L4.20	Grafik beban vs regangan BD benda uji model-A2 .....	209
Gambar L4.21	Grafik beban vs regangan BD benda uji model-A3 .....	209
Gambar L4.22	Grafik beban vs regangan BD benda uji model-B1 .....	210
Gambar L4.23	Grafik beban vs regangan BD benda uji model-B2 .....	210
Gambar L4.24	Grafik beban vs regangan BD benda uji model-B2 .....	210
Gambar L4.25	Grafik beban vs regangan BD benda uji model-C1 .....	211
Gambar L4.26	Grafik beban vs regangan BD benda uji model-C2 .....	211
Gambar L4.27	Grafik beban vs regangan BD benda uji model-C3 .....	211
Gambar L4.28	Grafik beban vs regangan AL benda uji model-A1 .....	214
Gambar L4.29	Grafik beban vs regangan AL benda uji model-A2 .....	214
Gambar L4.30	Grafik beban vs regangan AL benda uji model-A3 .....	214
Gambar L4.31	Grafik beban vs regangan AL benda uji model-B1 .....	215
Gambar L4.32	Grafik beban vs regangan AL benda uji model-B2 .....	215
Gambar L4.33	Grafik beban vs regangan AL benda uji model-B3 .....	215
Gambar L4.34	Grafik beban vs regangan AL benda uji model-C1 .....	216
Gambar L4.35	Grafik beban vs regangan AL benda uji model-C2 .....	216
Gambar L4.36	Grafik beban vs regangan AL benda uji model-C3 .....	216
Gambar L4.37	Grafik beban vs regangan AD benda uji model-A1 .....	219
Gambar L4.38	Grafik beban vs regangan AD benda uji model-A2 .....	219
Gambar L4.39	Grafik beban vs regangan AD benda uji model-A3 .....	219
Gambar L4.40	Grafik beban vs regangan AD benda uji model-B1 .....	220
Gambar L4.41	Grafik beban vs regangan AD benda uji model-B2 .....	220
Gambar L4.42	Grafik beban vs regangan AD benda uji model-B3 .....	220

Gambar L4.43 Grafik beban vs regangan AD benda uji model-C1 .....	221
Gambar L4.44 Grafik beban vs regangan AD benda uji model-C2 .....	221
Gambar L4.45 Grafik beban vs regangan AD benda uji model-C3 .....	221
Gambar L4.46 Grafik beban vs Deformasi LVDT-X benda uji model-A1 .....	224
Gambar L4.47 Grafik beban vs Deformasi LVDT-X benda uji model-A2 .....	224
Gambar L4.48 Grafik beban vs Deformasi LVDT-X benda uji model-A2 .....	224
Gambar L4.49 Grafik beban vs Deformasi LVDT-X benda uji model-B1 .....	225
Gambar L4.50 Grafik beban vs Deformasi LVDT-X benda uji model-B2 .....	225
Gambar L4.51 Grafik beban vs Deformasi LVDT-X benda uji model-B3 .....	225
Gambar L4.52 Grafik beban vs Deformasi LVDT-X benda uji model-C1 .....	226
Gambar L4.53 Grafik beban vs Deformasi LVDT-X benda uji model-C2 .....	226
Gambar L4.54 Grafik beban vs Deformasi LVDT-X benda uji model-C3 .....	226
Gambar L4.55 Grafik beban vs Deformasi LVDT-Z benda uji model-A1 .....	229
Gambar L4.56 Grafik beban vs Deformasi LVDT-Z benda uji model-A2 .....	229
Gambar L4.57 Grafik beban vs Deformasi LVDT-Z benda uji model-A3 .....	229
Gambar L4.58 Grafik beban vs Deformasi LVDT-Z benda uji model-B1 .....	230
Gambar L4.59 Grafik beban vs Deformasi LVDT-Z benda uji model-B2 .....	230
Gambar L4.60 Grafik beban vs Deformasi LVDT-Z benda uji model-B3 .....	230
Gambar L4.61 Grafik beban vs Deformasi LVDT-Z benda uji model-C1 .....	231
Gambar L4.62 Grafik beban vs Deformasi LVDT-Z benda uji model-C2 .....	231
Gambar L4.63 Grafik beban vs Deformasi LVDT-Z benda uji model-C3 .....	231
Gambar L4.64 Grafik beban vs Regangan Rkn benda uji model-B1 .....	234
Gambar L4.65 Grafik beban vs Regangan Rkn benda uji model-B2 .....	234
Gambar L4.66 Grafik beban vs Regangan Rkn benda uji model-B3 .....	234
Gambar L4.67 Grafik beban vs Regangan Rkn benda uji model-C1 .....	235
Gambar L4.68 Grafik beban vs Regangan Rkn benda uji model-C2 .....	235
Gambar L4.69 Grafik beban vs Regangan Rkn benda uji model-C3 .....	235
Gambar L4.70 Grafik beban vs Regangan Rkr benda uji model-B1 .....	238
Gambar L4.71 Grafik beban vs Regangan Rkr benda uji model-B2 .....	238
Gambar L4.72 Grafik beban vs Regangan Rkr benda uji model-B3 .....	238
Gambar L4.73 Grafik beban vs Regangan Rkr benda uji model-B3 .....	239
Gambar L4.74 Grafik beban vs Regangan Rkr benda uji model-C2 .....	239
Gambar L4.75 Grafik beban vs Regangan Rkr benda uji model-C3 .....	239
Gambar L4.76 Grafik beban vs regangan BTN benda uji model-A1 .....	242
Gambar L4.77 Grafik beban vs regangan BTN benda uji model-A2 .....	242
Gambar L4.78 Grafik beban vs regangan BTN benda uji model-A3 .....	242
Gambar L4.79 Grafik beban vs regangan BTN benda uji model-B1 .....	243
Gambar L4.80 Grafik beban vs regangan BTN benda uji model-B2 .....	243
Gambar L4.81 Grafik beban vs regangan BTN benda uji model-B3 .....	243
Gambar L4.82 Grafik beban vs regangan BTN benda uji model-B3 .....	244
Gambar L4.83 Grafik beban vs regangan BTN benda uji model-C2 .....	244
Gambar L4.84 Grafik beban vs regangan BTN benda uji model-C3 .....	244



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Daftar Benda Uji yang dibuat Shin dan Wan (2010) .....	14
Tabel 2.2	Hasil Pengujian Penelitian Shin dan Wan (2010) .....	15
Tabel 2.3	Hasil Pengujian Penelitian Pu dan Chung (1994) .....	15
Tabel 2.4	Macam bahan perekat Penelitian Gengying dkk (2001) .....	16
Tabel 2.5	Nilai $k_1$ dan $k_2$ .....	24
Tabel 2.6	Hasil pengujian penelitian pendahuluan .....	28
Tabel 3.1	Parameter plasticity beton .....	54
Tabel 4.1	Data strain gauge yang digunakan .....	66
Tabel 4.2.	Beban uji loading – unloading rencana dalam satuan (psi) .....	75
Tabel 4.3.	Beban uji loading – unloading rencana dalam satuan (ton) .....	76
Tabel 4.4	Penamaan benda uji .....	80
Tabel 4.5	Pemilihan benda uji untuk evaluasi dan analisis untuk pengamatan lendutan, regangan BL, BD, AL, AD dan BTN .....	80
Tabel 4.6	Pemilihan benda uji untuk evaluasi dan analisis untuk Pengamatan LVDT-X, LVDT-Z, regangan Rkn dan Rkr .....	80
Tabel 4.7	Kontrol Repeatability, Deviation of Linearity dan Permanency untuk Pelat Model-A .....	82
Tabel 4.8	Kontrol Repeatability, Deviation of Linearity dan Permanency untuk Pelat Model-B .....	82
Tabel 4.9	Kontrol Repeatability, Deviation of Linearity dan Permanency untuk Pelat Model-C .....	83
Tabel 4.10	Hasil Uji Core Drill .....	106
Tabel 5.1	Inelastic Strain, Compression Stress dan Compression Damagae Beton $f_c''$ 49.2 MPa .....	115
Tabel 5.2	Inelastic Strain, Compression Stress dan Compression Damagae Beton $f_c''$ 46.9 MPa .....	116
Tabel 5.3.	Cracking strain, tension stress dan tension damage beton $f_c''$ 49.2 MPa .....	118
Tabel 5.4.	Cracking strain, tension stress dan tension damage beton $f_c''$ 46.9 MPa .....	118
Tabel 5.5	Kontrol Repeatability, Deviation of Linearity dan Permanency untuk Pelat Model-A Hasil Analisis FEM .....	125
Tabel 5.6	Kontrol Repeatability, Deviation of Linearity dan Permanency untuk Pelat Model-B Hasil Analisis FEM .....	126
Tabel 5.7	Kontrol Repeatability, Deviation of Linearity dan Permanency untuk Pelat Model-C Hasil Analisis FEM .....	126
Tabel 5.8	Perhitungan Nilai U .....	137

Tabel 5.9	Perbedaan lendutan model A, B dan C pada kondisi retak awal terhadap hasil FEM dan analitis .....	140
Tabel 5.10	Perbandingan nilai regangan baja tarik lapis luar antara hasil percobaan, perhitungan analitis dan FEM .....	140
Tabel 5.11	Perbandingan nilai regangan baja tarik lapis dalam antara hasil percobaan, perhitungan analitis dan FEM .....	141
Tabel 5.12	Perbandingan nilai regangan baja tekan lapis luar antara hasil percobaan, perhitungan analitis dan FEM .....	143
Tabel 5.13	Perbandingan nilai regangan baja tekan lapis dalam antara hasil percobaan, perhitungan analitis dan FEM .....	144
Tabel 5.14	Perbandingan antara regangan beton sisi bawah dari hasil percobaan perhitungan analitis dan FEM .....	144
Tabel 5.15	Nilai $c_2$ (Rudolph Szilard - 1974) .....	145
Tabel 5.16	Nilai V pada persamaan 6.4 untuk pelat benda uji .....	146
Tabel 5.17	Variasi mutu material untuk analisis FEM .....	148
Tabel 5.18	Lendutan benda uji model-A, B dan C dengan mutu variasi-1, akibat beban merata .....	150
Tabel 5.19	Regangan pada tulangan bawah pelat model A, B dan C akibat beban merata dengan mutu beton Variasi-1 .....	151
Tabel 5.20	Tegangan pada tulangan bawah pelat model A, B dan C akibat beban merata dengan mutu beton Variasi-1 .....	151
Tabel 5.21	Regangan pada tulangan atas pelat model A, B dan C akibat beban merata dengan mutu beton variasi-1 .....	152
Tabel 5.22	Tegangan pada tulangan atas pelat model A, B dan C akibat beban merata dengan mutu beton variasi-1 .....	152
Tabel 5.23	Tegangan beton di tengah bentang sisi bawah pelat model A, B dan C untuk mutu beton variasi-1 .....	153
Tabel 5.24	Lendutan benda uji 2 m x 2 m model-A, B dan C dengan mutu variasi-2, akibat beban merata .....	154
Tabel 5.25	Regangan pada tulangan bawah pelat model A, B dan C akibat beban merata dengan mutu beton variasi-2 .....	154
Tabel 5.26	Tegangan pada tulangan bawah pelat model A, B dan C akibat beban merata dengan mutu beton variasi-2 .....	155
Tabel 5.27	Regangan pada tulangan atas pelat model A, B dan C akibat beban merata dengan mutu beton variasi-2 .....	155
Tabel 5.28	Tegangan pada tulangan atas pelat model A, B dan C akibat beban merata dengan mutu beton variasi-2 .....	155
Tabel 5.29	Tegangan beton di tengah bentang sisi bawah pelat model A, B dan C untuk mutu beton variasi-2 .....	156
Tabel 5.30	Lendutan benda uji 2 m x 2 m model-A, B dan C dengan Mutu variasi-3, akibat beban merata .....	156

Tabel 5.31	Regangan pada tulangan bawah pelat model A, B dan C akibat beban merata dengan mutu beton variasi-3 .....	157
Tabel 5.32	Tegangan pada tulangan bawah pelat model A, B dan C akibat beban merata dengan mutu beton variasi-3 .....	157
Tabel 5.33	Regangan pada tulangan atas pelat model A, B dan C akibat beban merata dengan mutu beton variasi-3 .....	158
Tabel 5.34	Tegangan pada tulangan atas pelat model A, B dan C akibat beban merata dengan mutu beton variasi-3 .....	158
Tabel 5.35	Tegangan beton di tengah bentang sisi bawah pelat model A, B dan C untuk mutu beton variasi-3 .....	158
Tabel 5.36	Regangan baja tulangan tarik arah-X dari pelat uji 2m x 2m di tengah dan di sekitar sambungan akibat beban merata .....	161
Tabel 5.37	Tegangan baja tulangan tarik arah-X dari pelat uji 2m x 2m di tengah dan di sekitar sambungan akibat beban merata .....	162
Tabel 5.38	Nilai U pada persamaan 5.2 untuk Pelat 10 m x 10 m .....	163
Tabel 5.39	Lendutan pelat model-D, E dan F dengan mutu variasi-2, akibat beban merata .....	168
Tabel 5.40	Regangan pada tulangan bawah pelat model D, E dan F akibat beban merata dengan mutu beton variasi-2 .....	169
Tabel 5.41	Tegangan pada tulangan bawah pelat model D, E dan F akibat beban merata dengan mutu beton variasi-2 .....	169
Tabel 5.42	Regangan pada tulangan atas pelat model D, E dan F akibat beban merata dengan mutu beton variasi-2 .....	170
Tabel 5.43	Tegangan pada tulangan atas pelat model D, E dan F akibat beban merata dengan mutu beton variasi-2 .....	170
Tabel 5.44	Tegangan beton di tengah bentang sisi bawah pelat model D, E dan F untuk mutu beton Variasi-2 .....	171
Tabel 5.45	Lendutan pelat model-D, E dan F dengan mutu variasi-3, akibat beban merata .....	171
Tabel 5.46	Regangan pada tulangan Pelat model D, E dan F akibat beban merata dengan mutu beton variasi-3 .....	172
Tabel 5.47	Tegangan pada tulangan Pelat model D, E dan F akibat beban merata dengan mutu beton variasi-3 .....	173
Tabel 5.48	Regangan pada tulangan atas pelat model D, E dan F akibat bebanm dengan mutu beton variasi-3 .....	173
Tabel 5.49	Tegangan pada tulangan atas pelat model D, E dan F akibat bebanm dengan mutu beton variasi-3 .....	173
Tabel 5.50	Tegangan Beton di Tengah Bentang Sisi Bawah Pelat Model D, E dan F untuk Mutu Beton Variasi-3 .....	174
Tabel 5.51	Regangan baja tulangan tarik arah-X dari pelat 10 m x 10 m di posisi sambungan dan di sekitar sambungan akibat beban merata .....	177

Tabel 5.52	Tegangan baja tulangan tarik arah-X dari pelat 10 m x 10 m di posisi sambungan dan di sekitar sambungan akibat beban merata .....	177
Tabel 5.53	Perbedaan lendutan berdasarkan beban percobaan dan beban layan ....	180
Tabel L4.1	Lendutan benda uji hasil percobaan .....	197
Tabel L4.2	Regangan baja tulangan tarik lapis luar (Strain gauge BL) .....	202
Tabel L4.3	Regangan baja tulangan tarik lapis dalam (Strain gauge BD) .....	207
Tabel L4.4	Regangan baja tulangan tekan lapis luar (Strain gauge AL) .....	212
Tabel L4.5	Regangan baja tulangan tekan lapis dalam (Strain gauge AD) .....	217
Tabel L4.6	Deformasi LVDT-X	222
Tabel L4.7	Deformasi LVDT-Z	227
Tabel L4.8	Deformasi regangan Rkn untuk benda uji model-B dan model-C	232
Tabel L4.9	Deformasi regangan Rkr untuk benda uji model-B dan model-C	236
Tabel L4.10	Regangan beton tengah bentang sisi bawah arah-X (Strain gauge BTN) .....	240
Tabel L5.1	Lendutan dan regangan beton sisi bawah di tengah bentang hasil analisis FEM .....	245
Tabel L5.2	Regangan baja tulangan tarik (Regangan BL dan BD) hasil analisis FEM .....	247
Tabel L5.3	Regangan baja tulangan tekan (Regangan AL dan AD) hasil analisis FEM .....	249

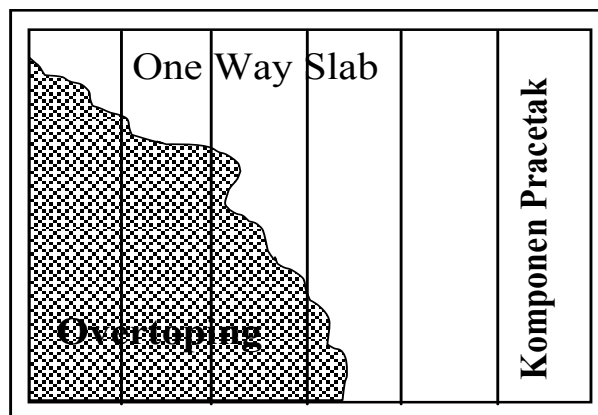
# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Penggunaan sistem *Half Slab Precast* biasanya dilaksanakan untuk pelat lantai yang berperilaku sebagai pelat satu arah (*One Way Slab*). Penggunaan sistem Half Slab Precast ini sangat mudah, praktis dan cepat, sehingga banyak digunakan oleh perencana, bahkan Para Pelaksana sering melakukan perubahan dari sistem monolit sesuai gambar perencanaan menjadi sistem Half Slab Precast. Namun bila sistem *Half Slab Precast* tersebut dilakukan pada panel pelat yang berperilaku sebagai pelat dua arah (*Two Way Slab*) diduga masih banyak menimbulkan masalah penurunan kekuatan dan terjadi retak – retak. Hal ini merupakan pertanyaan yang perlu dijawab, karena hal tersebut sering dilakukan oleh para Pelaksana untuk mempermudah dan mempercepat waktu pelaksanaan.

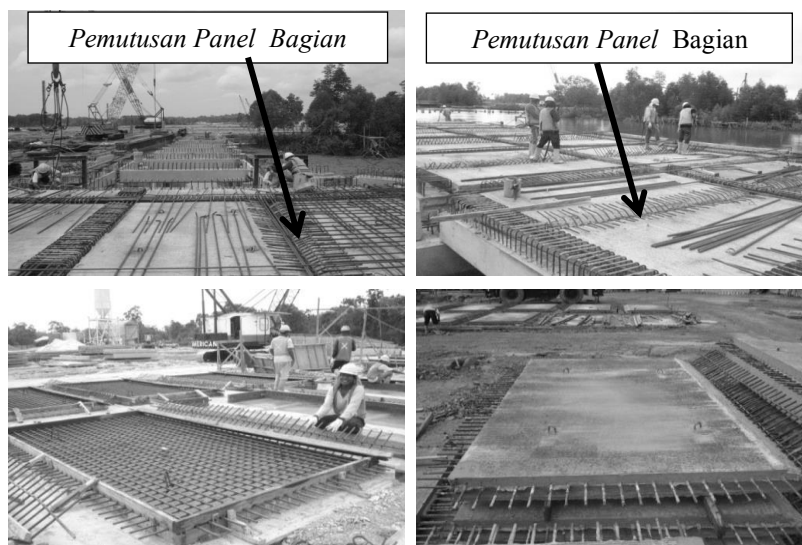
*Half Slab Precast* adalah sistem struktur pelat lantai yang dibagi menjadi dua ketebalan yaitu sebagian ketebalan bagian atas berupa beton cast in situ dan sebagian lagi yang bagian bawah berupa beton pracetak. Bila ukuran panel pelat lantai lebih dari 25 m<sup>2</sup> dengan perbandingan panjang dan lebar tidak kurang dari  $\frac{1}{2}$  atau lebih dari 2 (SNI-2847-2013, pasal 13.6.1.2) biasanya komponen pelat pracetaknya dibagi menjadi beberapa bagian seperti ditunjukkan pada Gambar 1.1. Hal ini karena mempertimbangkan kemampuan alat angkat atau crane yang digunakan untuk mengangkat komponen pracetak.



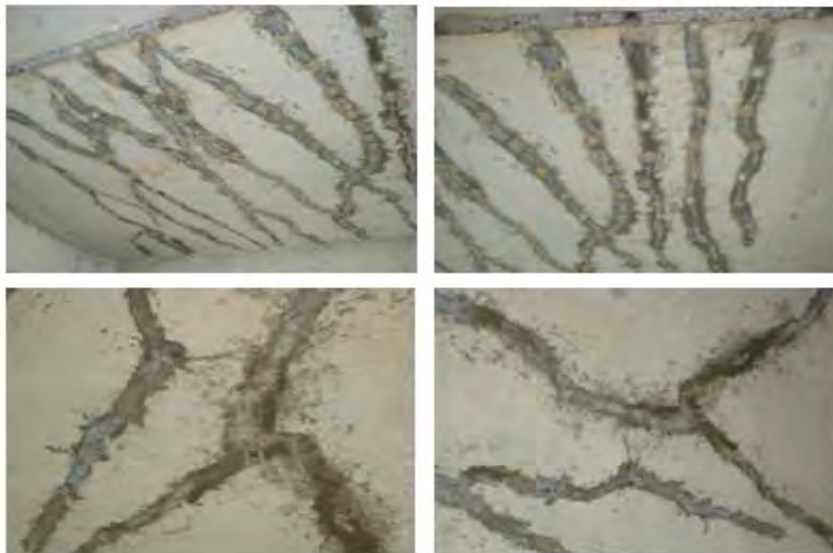
Gambar 1.1 Model One Way Slab

Kerusakan yang terjadi di lapangan adalah berupa kerusakan retak – retak yang diduga akibat adanya perubahan sistem konstruksi dari cast in situ menjadi *half slab precast*, dimana tidak memperhitungkan dampak negatifnya. Akibat perubahan sistem konstruksi tersebut, akan terjadi perubahan perilaku struktur, karena komponen pracetak bagian lapis bawah akan berperilaku sebagai pelat satu arah (*One Way Slab*), sedangkan komponen lapis atas akan berperilaku sebagai pelat dua arah (*Two Way Slab*) yang pada perencanaan awalnya baik komponen pelat lapis bawah maupun lapis atas kesemuanya berperilaku sebagai pelat dua arah. Dengan demikian dalam melakukan perubahan sistem dari *cast in situ* menjadi *half slab precast* seharusnya perlu diikuti dengan melakukan perubahan pada dimensi dan penulangannya baik jumlah maupun diameternya atau dengan memberikan sistem sambungan antara komponen pracetak, sehingga secara terangkai dapat berperilaku sebagai pelat dua arah. Dengan demikian setelah dilakukan perubahan diharapkan tetap mempunyai kemampuan memikul beban sesuai dengan perencanaan awal.

Contoh model sambungan antar komponen pracetak pada two half slab precast dan dugaan kerusakan yang terjadi di lapangan pada struktur pelat lantai dermaga akibat model sambungan tersebut, dapat dilihat pada Gambar 1.2. dan 1.3.



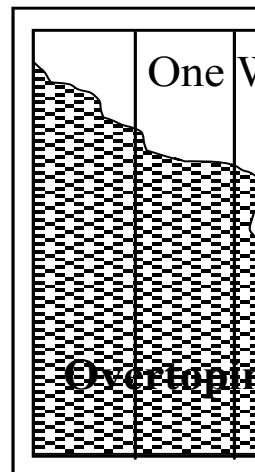
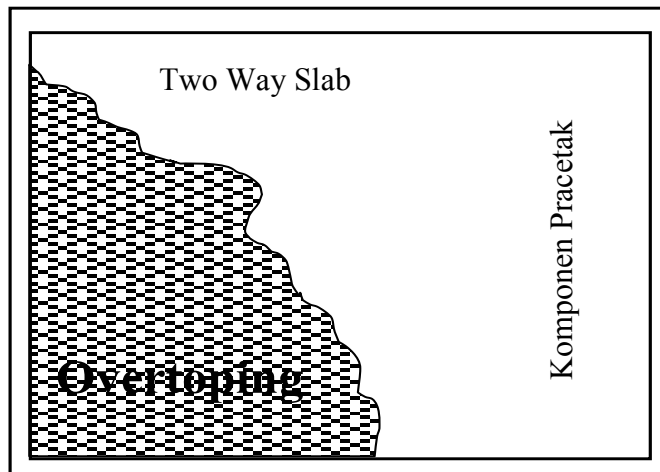
Gambar 1.2 Kasus model sambungan antar komponen pracetak



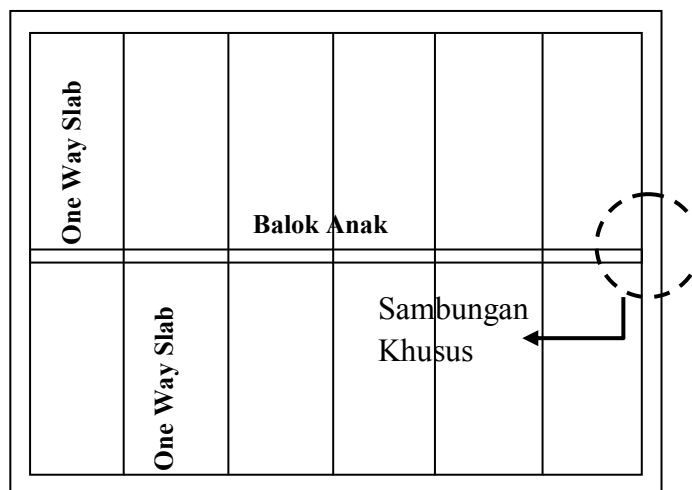
Gambar 1.3 Kerusakan yang diduga akibat model sambungan antar komponen pracetak yang kurang baik

Beberapa kejadian di lapangan, sering terjadi perubahan sistem struktur yang pada awalnya direncanakan secara monolit, kemudian diubah menjadi sistem *half slab precast* yaitu dengan membagi dua lapis yang terdiri dari lapisan bawah merupakan komponen pracetak dan lapis atas merupakan *overtopping* yang dicor di tempat. Sedangkan untuk memudahkan dalam pengangkatan, biasanya komponen pracetak bagian bawah pada arah panjang pelat dibagi lagi menjadi beberapa bagian yang saling terpisah, disesuaikan dengan kemampuan alat angkat yang tersedia.

Cara mudah yang sering dilakukan di lapangan dalam melakukan perubahan dari sistem cast in situ menjadi sistem *two half slab precast* adalah dengan membuat komponen pracetak merupakan pelat utuh seperti pada Gambar 1.4, namun akan ada kendala cara pengangkatannya. Sedangkan cara lain adalah dengan memberikan balok anak seperti ditunjukkan pada Gambar 1.5, namun akan ada kendala cara penyambungan balok anak dan balok induk yang sulit.



Gambar 1.4 Komponen pracetak dibuat utuh dua arah



Gambar 1.5 Penambahan balok anak di bawah komponen pracetak

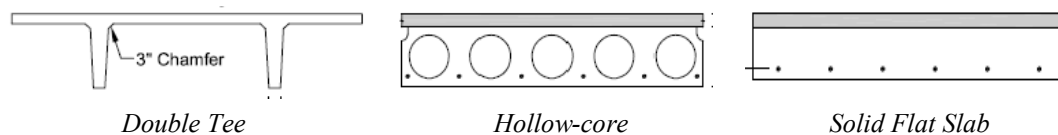
Penambahan balok anak di bawah komponen pracetak akan mengakibatkan perubahan beban pada balok induk yang pada awalnya berupa beban merata menjadi beban terpusat yang berasal dari balok anak. Disamping itu diperlukan pula rekayasa sambungan khusus antara balok anak dengan balok induk yang kemungkinan tidak mudah dilaksanakan.

Kekuatan dari pelat beton sistem half slab precast salah satunya tergantung dari kekuatan geser dan lekatan antara beton pracetak dan *overtopping*-nya disamping tergantung dari dimensi penampang dan mutu materialnya. Oleh



karena itu sudah banyak penelitian yang telah dilakukan terhadap sistem half slab precast, bahkan komponen pracetak sudah banyak diproduksi oleh beberapa perusahaan, amun kesemuanya merupakan komponen pelat satu arah.

*Precast / Prestressed Concrete Institute (PCI, 2004)* telah mengatur perihal komponen pracetak untuk slab yang berupa *Double T Slab*, *Hollow Cor Slab* dan *Solid Flat Slab* dimana semua lebar panel pelat teresbut direncanakan untuk sistem pelat satu arah seperti diperlihatkan pada Gambar 1.6. Komponen pelat pracetak tersebut dapat digunakan sebagai komponen dari sistem half slab precast yang pada lapisan atasnya dapat diberikan beton cast in situ sebagai overtopping. Sehingga bila dipasang pada panel pelat dua arah, maka akan mengakibatkan beda perilaku antara komponen pracetaknya yang berupa pelat satu arah dan komponen overtoppingnya sebagai pelat dua arah.



Gambar 1.6 Penampang Pelat Pracetak Standar

Beberapa penelitian dan paper tentang half slab precast yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti dan penulis berdasarkan urutan tahun, diantaranya adalah :

1. Penelitian tentang *Two Way Half Slab* dengan komponen bagian bawah berupa balok – balok grid yang sudah dirangkai secara pracetak dan dilengkapi pratekanan dengan unbounded tendon - *Tezuka (1994)*.
2. Penelitian tentang struktur lantai yang dibuat dari beberapa *Full Depth Slab Precast* yang masing – masing precast slab sebagai pelat satu arah (*One Way Slab*) – *Heiber (2005)*.
3. Paper tentang sambungan antar komponen pracetak pada *Half Slab Precast* yang direkomendasikan di Indonesia - *Wijanto dan Takim (2008)*.
4. Penelitian tentang perilaku beton komposit yang dipengaruhi oleh kondisi permukaan antara beton pracetak dengan beton baru sebagai overtoppingnya - perbedaan susut dan perbedaan kekakuan dari beton lama (komponen pracetak) dan beton baru (overtopping) - *Santos dan Julio (2010)*.

5. Penelitian tentang pelat pracetak yang terbuat dari ferrocement dan merupakan bagian dari *half slab precast*, namun hanya difungsikan sebagai bekisting - *Yardim (2013)*.
6. Penelitian tentang sistem semi precast untuk pelat satu arah (*One Way Slab*) dengan komponen pelat *precast* lapis bawah dilengkapi dengan *shear connector* - *Siswosukarto (2013)*.
7. Penelitian eksperimental tentang sambungan antar komponen pelat pracetak pada sistem *half slab precast* dua arah – *Irawan dkk (2012)*.
8. Penelitian tentang *half slab precast* secara FEM untuk verifikasi penelitian eksperimental yang dilakukan Irawan dkk (2012) – *Mufdila dkk (2014)*.
9. Paper tentang penanganan kerusakan pelat lantai dua arah akibat perubahan sistem struktur di sebuah bangunan dernaga, dari sistem monolit menjadi *half slab precast* – *Irawan dkk (2013)*.

Dalam Journal ACI mulai tahun 1995 hingga 2012, penelitian yang berkaitan dengan sistem *half slab precast* telah banyak dibahas, namun banyak membahas tentang geser horizontal, lendutan dan tentang material. Adapun penelitian tentang *half slab precast* untuk panel pelat dua arah dimana komponen pracetaknya yang dibuat secara segmental belum banyak diteliti.

*Half slab precast* sebagai pelat dua arah pernah dilakukan oleh Irawan dkk (2012) dan di verifikasi secara FEM oleh Mufdila (2014) yang juga telah diimplementasikan di lapangan. Namun hasilnya belum benar – benar sempurna, karena masih terdapat kegagalan di beberapa tempat.

Banyak hal yang mempengaruhi kekuatan *sistem half slab precast*, antara lain kekuatan geser antara komponen pracetak dengan beton baru yang berupa *overtopping*, kekuatan elemen kontak antara beton lama dengan beton baru dan juga pengaruh material beton sistem *half slab precast*, baik dari komponen pracetak maupun *overtopping*-nya terhadap kemampuan lenturnya.

Oleh karena itu, penelitian – penelitian dan paper - paper sebelumnya yang membahas tentang *half slab precast* dan pendukungnya adalah merupakan latar belakang munculnya gagasan baru tentang usulan model sambungan antar

komponen pracetak pada sistem *half slab precast* dua arah yang lebih baik dan juga sebagai penyempurnaan dari penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Irawan dkk (2012), Mufdilawati dkk (2014) dan Arifianto, dkk (2015).

. Dalam penelitian ini akan difokuskan pada penciptaan sistem sambungan antar komponen pracetak bagian bawah dari sistem *half slab precast*, sehingga secara bersama – sama komponen pracetak dan komponen overtoppingnya dapat berperilaku sebagai pelat dua arah. Dalam penelitian ini diusulan beberapa alternatif model sambungan yang diteliti secara eksperimental di Laboratorium dan divalidasi dengan analisis, baik secara analitis maupun FEM.

## **1.2 Permasalahan**

Perubahan sistem struktur pelat monolit dua arah menjadi sistem pracetak, biasanya dilakukan dengan membagi menjadi dua bagian lapisan, yaitu lapisan bagian bawah dibuat secara pracetak dan lapisan bagian atas dilakukan secara cor di tempat (cast in situ). Pada komponen pracetak bagian bawah biasanya dibagi lagi menjadi beberapa bagian (segmental) pada arah memanjang panel pelat dengan jumlah segmen disesuaikan dengan kemampuan alat angkat yang tersedia. Permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini dikhususkan untuk struktur pelat lantai yang mempunyai dimensi luasan yang masuk dalam katagori pelat dua arah (*two way slab*).

Permasalahan yang perlu dijawab dalam penelitian ini adalah, bila perubahan sistem cast in situ (monolit) pada pelat dua arah menjadi sistem *half slab precast* dilakukan terhadap panel pelat yang berukuran besar, sehingga dengan terpaksa harus membagi komponen pracetak menjadi beberapa bagian, namun harus tetap dapat berperilaku sebagai pelat dua arah. Untuk itu perlu diciptakan sistem sambungan yang dapat menjamin kekuatan tarik akibat lentur antara komponen pracetak bagian lapis bawah sehingga panel pelat secara bersama - sama, baik bagian lapis bawah maupun lapis atas dapat berperilaku sebagai pelat dua arah tanpa menambahkan balok – balok anak. Untuk mendapatkan jawaban tentang perilaku sistem sambungan antar komponen pracetak tersebut, maka terdapat permasalahan yang mengikutinya yaitu :

- a. Bagaimana perilaku lendutan, kemampuan menerima beban retak dan beban runtuh dari panel *half slab precast* dengan sambungan yang diusulkan ?
- b. Bagaimana kondisi regangan beton di tengah bentang dari panel *half slab precast* dengan sistem sambungan yang diusulkan dibandingkan dengan sistem monolit ?
- c. Bagaimana pola retak yang terjadi dari panel *half slab precast* dengan sistem sambungan yang diusulkan dibandingkan dengan sistem monolit ?
- d. Bagaimana kondisi regangan pada tulangan tarik dari panel *half slab precast* dengan sistem sambungan yang diusulkan dibandingkan dengan sistem monolit ?
- e. Bagaimana perbandingan hasil percobaan terhadap hasil analisis teoritis maupun *FEM* ?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Sehubungan dengan permasalahan yang telah diuraikan di atas, maka tujuan penelitian ini adalah untuk menciptakan suatu sistem sambungan antar pelat pracetak yang kokoh, sehingga secara terangkai akan dapat menjamin perilaku struktur sebagai pelat dua arah. Untuk mewujudkan tujuan tersebut, maka dilakukan pengujian terhadap model benda uji *half slab precast* yang dibuat berdasarkan usulan sistem sambungan antar komponen pracetak dan juga terhadap model panel monolit yang digunakan sebagai pembanding dengan melakukan pengamatan untuk mengetahui tentang beberapa hal sebagai berikut :

- a. Lendutan, kemampuan beban retak dan beban runtuh dari model *half slab precast* dua arah yang diusulkan
- b. Regangan beton di tengah bentang untuk setiap model pelat
- c. Pola retak untuk setiap model pelat
- d. Regangan pada tulangan tarik
- e. Perbandingan hasil percobaan dengan analisis untuk keperluan validasi

Selain melakukan pengamatan terhadap hasil uji eksperimental tersebut, dilakukan pula analisis *FEM* dan analitis untuk keperluan verifikasi terhadap hasil

eksperimental guna membuktikan bahwa hasil uji eksperimental dapat dikatakan valid.

#### **1.4 Kontribusi dan Orisinalitas Penelitian**

Penelitian tentang *half slab precast* untuk pelat satu arah sudah banyak dilakukan oleh para peneliti. Dalam penelitian ini dilakukan terhadap *half slab precast* pada pelat dua arah yang belum pernah dilakukan para peneliti, khususnya penelitian terhadap sistem sambungan antar komponen pracetak yang tahan terhadap beban tarik akibat lentur.

Sambungan yang biasa dilakukan oleh para konstruktor adalah sambungan yang tahan terhadap geser antara komponen pracetak, namun tidak tahan terhadap beban tarik akibat lentur, sehingga sering terjadi kerusakan retak seperti ditunjukkan pada Gambar 1.3.

Pelat beton dengan sistem *half slab precast* adalah merupakan sistem yang praktis, mudah dan ekonomis, walaupun terdapat beberapa kekurangan. Untuk itu keunggulan dan kekurangan sistem *half slab precast* dapat dijelaskan sebagai berikut :

##### Keunggulan :

- a. Volume beton pada struktur pelat lantai akan lebih kecil yang berimplikasi menjadi lebih ekonomis karena tidak terdapatnya balok anak.
- b. Pelaksanaannya akan lebih cepat.
- c. Bekisting yang diperlukan lebih sedikit.

##### Kekurangan :

- a. Kekakuan lebih kecil dibandingkan dengan sistem monolit
- b. Lendutan lebih besar dibandingkan dengan sistem monolit
- c. Memerlukan sambungan khusus antara komponen pracetak bagian bawah dari sistem *half slab precast* untuk panel pelat dua arah.

Untuk meminimumkan kekurangannya, maka perlu adanya suatu penciptaan sambungan antar komponen pracetak bagian bawah dari sistem *half slab precast*

yang memadai dan tahan terhadap beban tarik akibat lentur, khususnya pada panel pelat dua arah.

Keberhasilan penciptaan sistem sambungan dalam penelitian ini dapat memberikan kontribusi yang bermanfaat bagi Perencana maupun Pelaksana, sehingga dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam melakukan perencanaan maupun perubahan perencanaan saat di lapangan, khususnya untuk perencanaan pelat lantai dengan sistem *half slab precast* yang direncanakan sebagai pelat dua arah.

Penelitian ini dapat dikatakan mempunyai orisinalitas karena berdasarkan penelitian sebelumnya yang telah diuraikan di dalam Bagian 1.1, terlihat bahwa hampir semua penelitian difokuskan untuk pelat – pelat satu arah (*one way slab*). Sedangkan untuk *half slab precast* yang dapat berperilaku sebagai pelat dua arah belum pernah dilakukan.

### **1.5 Batasan Masalah**

Penelitian ini dilakukan terbatas pada perilaku sambungan antar komponen pracetak sistem half slab, tidak meninjau perilaku interaksi antara komponen pracetak dengan overtopping-nya yang sudah diasumsikan berinteraksi sempurna dengan memasang shear connector antara panel pracetak dan *overtopping*-nya.

Penelitian dilakukan terhadap pelat dua arah berukuran 2200 mm x 2200 mm x 200 mm yang ditumpu dengan tumpuan sederhana di empat sisinya. Pembebanannya terpusat dengan area 200 mm x 200 mm dan dilakukan secara percobaan dengan beban mengikuti ketentuan dalam *ACI 437R-03*. Pelat tersebut dibuat 3 model yang terdiri dari pelat model monolit, *half slab presact* dengan *rectangular connection* dan *half slab presact* dengan *triangular connection*. Untuk keperluan validasi dilakukan juga analisis *FEM* dengan menggunakan pembebanan seperti yang dilakukan dalam percobaan. Untuk mengetahui konsistensi perilaku *half slab precast* dua arah dengan sambungan yang diusulkan, dilakukan pula analisis *FEM* untuk model yang sama dengan model percobaan, namun dibebabni beban merata monotonic..

## 1.6 Hipotesa

Penciptaan suatu sambungan antar pelat beton pracetak yang kuat dan dapat meyakinkan menerima tarik yang cukup, dimungkinkan dapat digunakan pada struktur pelat dengan sistem pracetak sebagian atau yang biasa disebut dengan sistem *half slab precast* dan tidak akan menimbulkan permasalahan perilaku struktur yang dapat mengakibatkan terjadinya kerusakan.

Model sambungan antar pelat pracetak pada sistem half slab precast yang dirancang dimungkinkan dapat menjadikan pelat berperilaku sebagai pelat dua arah, dimana komponen pracetak dan overtoppingnya dapat menerima momen pada arah panjang dan lebar dari panel pelat lantai atau yang biasa disebut sebagai pelat dua arah.

Kekuatan dari pelat sistem *half slab precast* dengan sistem model sambungan yang dirancang dalam penelitian ini dimungkinkan dapat berperilaku sama dengan kekuatan pelat sistem monolit (*cast in situ*). Bila terjadi kekurangan kekuatan dari panel *half slab precast* dengan sistem sambungan yang diusulkan, maka penurunan kekuatannya diharapkan tidak terlalu signifikan dibandingkan dengan sistem monolit.

***Halaman ini sengaja dikosongkan***



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Dalam mewujudkan penelitian sambungan antar pelat pracetak pada sistem half slab precast, maka diperlukan pengetahuan tentang beberapa penelitian yang telah dilakukan oleh para peneliti terdahulu, khususnya yang berkaitan erat dengan penelitian yang dilakukan. Adapun materi - materi dari penelitian terdahulu yang perlu ditinjau adalah :

- a. Lekatan Geser antara beton lama dengan beton baru.
- b. Lekatan antara Tulangan dengan Beton.
- c. Pengaruh material beton terhadap lendutan pada sistem *half slab precast*.
- d. Momen dan Lendutan pada Pelat beton
- e. Model sambungan antar pelat pracetak sistem *half slab precast* yang pernah diteliti sebelumnya
- f. Cara Pembebanan untuk pengujian lantai pelat beton.
- g. Perhitungan Analitis
- h. Penelitian Pendahuluan tentang sambungan antar pelat pracetak sistem half slab precast yang akan dilakukan
- i. Analisis Elemen Hingga

Beberapa literatur dan Journal telah membahas tentang hal tersebut yang secara ringkas dapat diuraikan sebagai berikut :

##### **2.1.1 Lekatan dan Geseran antara Beton Lama dengan Beton Baru**

Beberapa penelitian yang dimuat dalam Journal tentang lekatan geser antara beton lama dan baru telah banyak dibahas, diantaranya :

*Shin dan Wan (2010)* telah meneliti tentang Interfacial Properties antara Beton Baru dan Beton Lama, dimana telah membuat beberapa benda uji seperti ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Daftar Benda Uji yang dibuat Shin dan Wan (2010)

Specimen Set	Moisture Condition at The Old Concrete Surface	Water to Cement Ratio of New Concrete	Supplementary Cementing Material
SSD-0.60	SSD	0.60	None
SSD-0.45	SSD	0.45	None
AD-0.60	Air-Dry	0.60	None
AD-0.45	Air-Dry	0.45	None
SSD-0.45SF	SSD	0.45	Silica Fume
AD-0.45SF	Air-Dry	0.45	Silica Fume

Dimana :

SSD-0.6 : *Saturated Surface Dry* dengan *water ratio* 0,6

SSD-0.45 : *Saturated Surface Dry* dengan *water ratio* 0,45

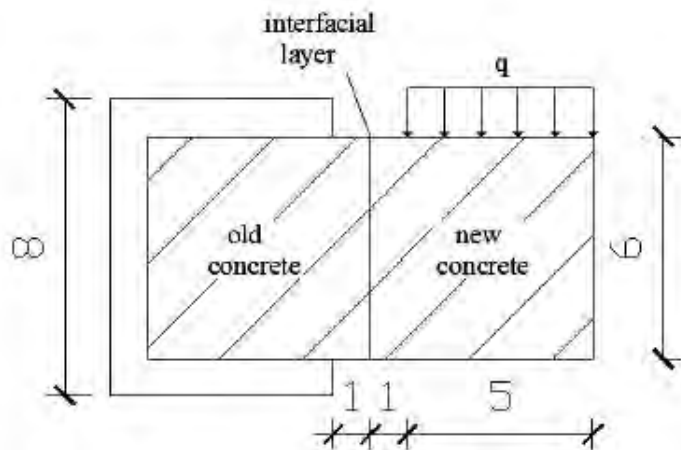
SSD-0.45SF : *Saturated Surface Dry* dengan *water ratio* 0,45 ditambah *Silica Fume*

AD-0.6 : *Saturated Air Dry* dengan *water ratio* 0,6

AD-0.45 : *Saturated Air Dry* dengan *water ratio* 0,45

AD-0.45FS : *Saturated Air Dry* dengan *water ratio* 0,45 ditambah *Silica Fume*

Cara pengujiannya seperti diperlihatkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Cara Pengujian *Shin* dan *Wang* (2010)

Hasil penelitian ini dapat ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Hasil Pengujian Penelitian *Shin dan Wan* (2010)

Mixture (w/c Ratio)	Silica Fume	Compressive Strength of New Concrete (lb)	Moisture Condition	Average Shear Bond Strength at Interface (psi)
A (0.45)	No	5238.00	SSD	269.80
			Air-Dry	150.80
B (0.60)	No	3698.00	SSD	485.10
			Air-Dry	263.90
C (0.45)	Yes	7492.00	SSD	767.90
			Air-Dry	518.80

Tabel 2.2. menunjukkan bahwa material beton dengan *silica fume* yang tinggi akan mempunyai kekuatan tekan dan shear *bond strength* yang tinggi pula. Sedangkan material beton tanpa *silica fume* tetapi mempunyai water cement ratio rendah akan mempunyai kekuatan tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan kekuatan tekan dari material dengan water cement ratio yang tinggi, namun shear bond strength nya lebih rendah.

*Pu dan Chung* (1994) telah melakukan penelitian tentang peningkatan kemampuan *bonding* antara beton lama dan beton baru dengan menambahkan *carbon fiber* pada campuran beton baru. Penelitian yang dilakukan adalah membuat campuran beton baru dengan menambahkan *carbon fiber* sebanyak 0.35 %. Untuk mencampurnya diperlukan bahan tambahan berupa latex, methylcellulose dengan atau tanpa *silica fume*. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa lekat geser yang dihasilkan seperti diperlihatkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Hasil Pengujian Penelitian *Pu dan Chung* (1994)

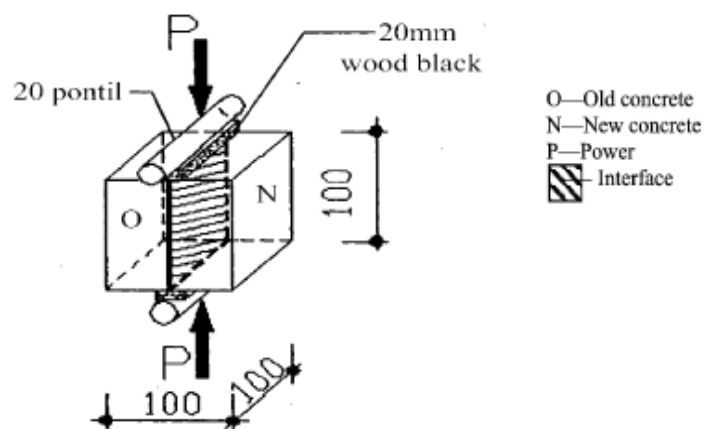
JOINT (Old - New)	Bond Strength (Mpa)		Fractional Increase Due to Fiber
	Without Fiber	With Fiber	
Plain - plain	0.22±0.02	-	-
Plain - M	0.39±0.05	0.63±0.02	62%
Plain - M + SF	0.84±0.02	1.40±0.10	67%
Plain - Latex	0.76±0.03	1.44±0.15	89%

Tabel 2.3. menunjukkan bahwa dengan menambahkan *carbon fiber* pada campuran beton baru akan dapat meningkatkan kemampuan lekat geser (*shear bond*) antara beton lama dengan beton baru.

*Gengying Li, dkk* (2001) telah melakukan penelitian tentang zona transisi dari pertemuan beton baru dengan beton lama, dimana pertemuan antara beton lama dengan beton baru adalah merupakan bagian lemah pada suatu sambungan beton. Oleh karena itu dalam penelitian ini dilakukan pengujian terhadap berbagai macam sambungan antara beton lama dan beton baru dengan berbagai material perekat yang berbeda – beda. Material pengikat tersebut adalah seperti diperlihatkan pada Tabel 2.4. sedangkan cara pengujiannya dapat dilihat pada Gambar 2.2.

Tabel 2.4 Macam bahan perekat Penelitian *Gengying dkk* (2001)

Biner Type	Cement	Water	Sand	Fly Ash	U-Type Expansive Agent	Super Plasticizer Dosage
C-Binder	1.00	0.40	-	-	-	0.50
F-Binder	0.75	0.40	1.00	0.25	-	1.50
E-Binder	0.90	0.40	-	-	0.10	0.50
Polymer (YJ-302)	One of the main component of the polymermodified binder (YJ-302) was emulsified epoxy resin					

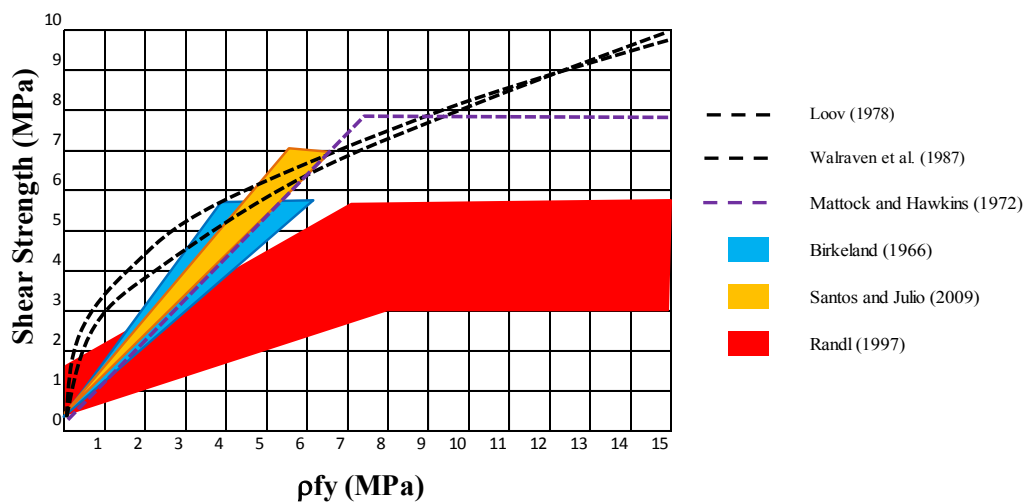


Gambar 2.2 Cara Pengujian Geser penelitian *Gengying, Xie dan Xiong* (2001)

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa kekuatan lekat geser (*shear bond strength*) antara beton lama dengan beton baru yang menggunakan bahan perekat *F-Binder* mempunyai shear bond strength paling tinggi. Sedangkan

urutan berikutnya yang lebih rendah adalah bahan perekat *E-Binder* dan *C-Binder* adalah yang mempunyai shear bond strength terendah.

*Santos dan Eduardo* (2012), telah menulis tentang perkembangan formula untuk menghitung geser friksi antara beton dengan beton yang mempunyai perbedaan umur pengecoran, mulai dari tahun 1960 sampai dengan tahun 2009 yang dilakukan oleh beberapa peneliti, dimana hampir setiap satu sampai lima tahun sekali selalu ada perkembangan formula tersebut. Dari semua peneliti menyebutkan bahwa kekuatan geser friksi antara beton dengan beton yang mempunya umur pengecoran berbeda tergantung dari kohesi, kemampuan friksi akibat kekasaran dan aksi. Atau dapat dikatakan bahwa kekuatan geser friksi sangat ditentukan dengan kekasaran dari permukaan beton lama. Gambar 2.3 menunjukkan perbedaan hasil perhitungan kekuatan geser friksi dari beberapa peneliti dari tahun 1972 - 2009.



Gambar 2.3 Hasil Penelitian Geser Friksi beberapa Peneliti

*Tanner* (2008) telah menulis tentang perkembangan penentuan koefisien friksi ( $\mu$ ) dan koefisien friksi efektif ( $\mu_e$ ) yang sering digunakan oleh para Perencana. Tanner sendiri mengusulkan modifikasi formula dalam menentukan koefisien friksi antara beton dengan beton seperti yang disebutkan dalam *PCI Handbook* (2004) edisi ke-enam.

Formula untuk mendapatkan  $\mu_e$  yang terdapat dalam *PCI Handbook* edisi ke-enam ditunjukkan pada persamaan (2.1).

$$\mu_e = \frac{1000}{V_u} \times A_{cr} \times \mu \dots \dots \dots \text{pers. (2.1)}$$

$\lambda$  = Faktor Modifikasi Beton dalam Perhitungan Panjang Penyaluran

$A_{cr}$  = Luasan dari *Crack Interface*

$\mu$  = Koefisien Geser Friksi

$V_u$  = Gaya Geser Berfaktor

Adapun formula yang diusulkan oleh *Tanner* ditunjukkan pada persamaan (2.2). :

$$\mu_e = \mu V_{n \max} / V_n \text{ atau } \mu_e = \mu \phi V_{n \max} / V_u \dots \dots \dots \text{pers. (2.2)}$$

Dimana :

$\lambda$  = 1.0 untuk beton normal

$\lambda$  = 0.85 untuk beton ringan sebagian

$\lambda$  = 0.75 untuk beton ringan

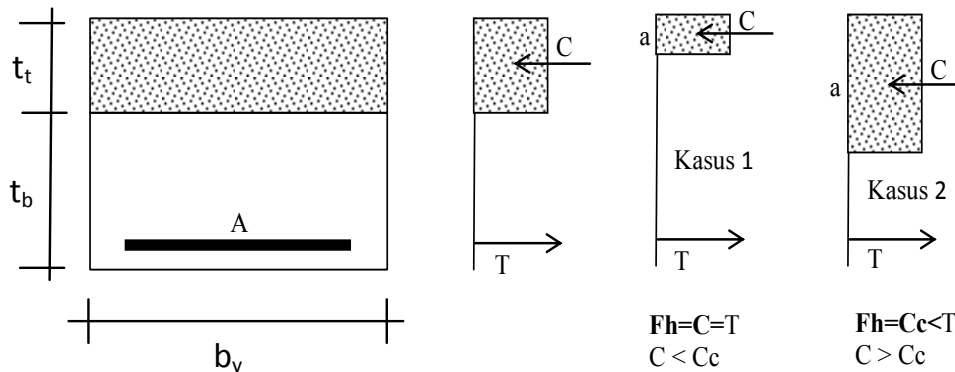
$\mu$  = 1.4 $\lambda$ , 1.0 $\lambda$ , 0.7 $\lambda$ , 0.6 $\lambda$  tergantung dari pola retak antara beton lama dan baru.

$V_{n, \max}$  = Kekuatan Geser Nominal Maksimum  
 $= 0.30\lambda f_c' A_{cr} < 1000\lambda A_{cr}$  untuk beton monolit  
 $= 0.25\lambda f_c' A_{cr} < 1000\lambda A_{cr}$  untuk beton dengan beton yang  
dikasarkan  
 $= 0.20\lambda f_c' A_{cr} < 800\lambda A_{cr}$  untuk beton dengan beton yang tidak  
dikasarkan

$V_n$  = Kekuatan Geser Nominal

*PCI*, (2004), telah mengatur kekuatan geser antara beton lama dengan beton baru, khususnya geser horizontal pada beton akibat lentur, baik yang tidak

menggunakan tulangan geser maupun yang menggunakan tulangan geser. Diagram kapasitas penampang komposit dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Gambar kapasitas penampang pomposit (PCI 2004)

Untuk kekuatan geser horizontal antara beton lama dengan yang tidak menggunakan tulangan geser, *PCI* menetapkan sebesar :

$$F_h = \phi (80.b_v.l_{vh}) \text{ ksi. (untuk penelitian } \phi = 1) \quad \text{..... pers. (2.3)}$$

Sedangkan untuk kekuatan geser antara beton lama dan beton baru yang menggunakan tulangan geser, *PCI* ditunjukkan pada persamaan (2.4) dan (2.5) :

$$F_h = \phi (260 + 0.6.\rho_v.l_{vh}).\lambda.b_v.l_{vh} \quad \text{..... pers. (2.4)}$$

Namun  $F_h$  tidak boleh lebih besar dari

$$F_h < \phi.500.b_v.l_{vh} \text{ (untuk penelitian nilai } \phi = 1) \quad \text{..... pers. (2.5)}$$

Besarnya tulangan geer yang ditentukan dengan persamaan (2.6) :

$$A_{cs} = \rho_v.b_v.l_{vh} \quad \text{..... pers. (2.6)}$$

Dimana :

$F_h$  = gaya geser horizontal

$b_v$  = lebar bidang geser

$l_{vh}$  = panjang  $\frac{1}{2}$  bentang

$\rho_v$  = *ratio* tulangan geser

- $\lambda$  = diambil sesuai SNI atau *ACI*, untuk beton normar diambil = 1
- $\phi$  = faktor reduksi untuk desain, diambil = 0.75, untuk kemampuan nominal harga
- $\phi$  diambil = 1

Sedangkan menurut *ACI - 318 - 02* Pasal 17.6.1. dinyatakan bahwa jarak antar shear connector tidak boleh lebih dari 4 kali ketebalan overtopping nya atau tidak lebih dari 24 inchi.

Dengan mempelajari beberapa penelitian tentang geser antar beton dan aturan yang ada di dalam *PCI*, maka dapat dipastikan bahwa geser yang terjadi antara beton precast dan overtopping tidak semuanya harus dipikul oleh shear connector, namun permukaan antara beton precast dan overtopping masih ikut berperan. Sehingga untuk dapat menentukan perlu atau tidaknya shear connector dapat digunakan perumusan dari *PCI*.

### **2.1.2 Lekatan antara Tulangan dan Beton**

Lekatan antara tulangan dan beton juga pasti akan ikut mempengaruhi kekuatan sambungan antar pelat pracetak. Kemampuan lekatan tulangan dengan beton diwujudkan dengan memperpanjang bagian tulangan yang masuk dalam beton, atau yang biasa disebut dengan panjang penyaluran. Persyaratan panjang penyaluran tulangan telah diatur dalam SNI pasal 12.8.

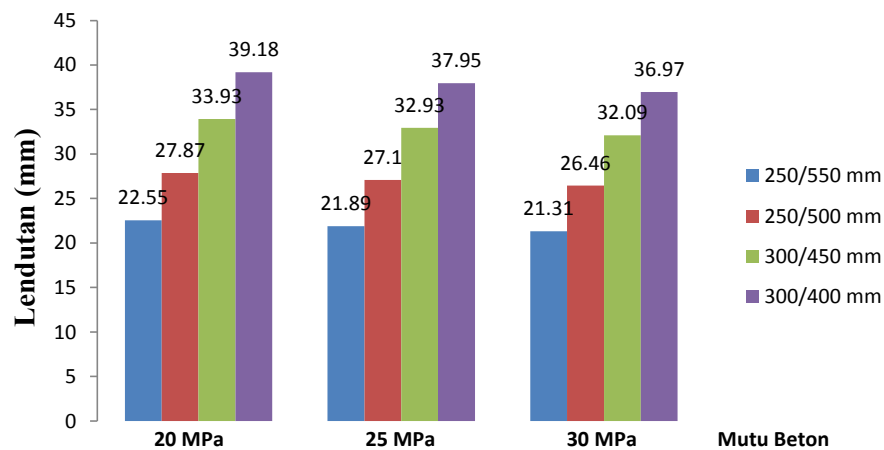
### **2.1.3 Pengaruh Material terhadap Lendutan**

Lendutan dari suatu komponen struktur sangat dipengaruhi oleh Modulus Elastisitas (*E*) dan Momen Inersia (*I*). Modulus elastisitas dipengaruhi oleh jenis material, dimana semakin tinggi modulus elastisitasnya maka lendutan yang terjadi akan semakin kecil. Demikian juga yang terjadi pada material beton, semakin tinggi mutu betonnya, maka akan semakin kecil lendutan yang terjadi.

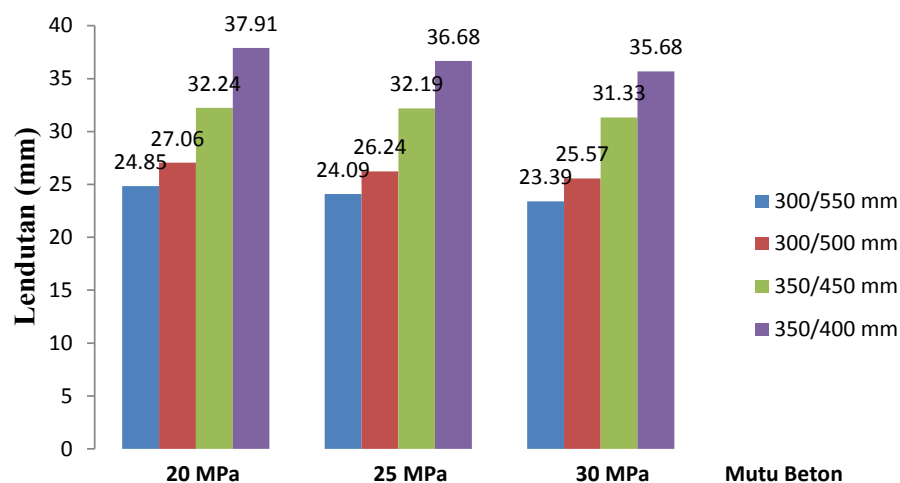
Kualitas beton akan dipengaruhi oleh material – material tambahan yang ditambahkan dalam campuran betonnya. Ada kalanya bahan tambahan tersebut hanya meningkatkan kuat tekan beton namun tidak banyak pengaruh terhadap kemampuan menahan lendutan yang terjadi. Oleh karena itu perlu ada penelitian tentang hal tersebut.



Wiyono dkk (2013) telah melakukan penelitian tentang lendutan pada balok dimana dalam penelitian tersebut terdapat salah satu kesimpulan bahwa mutu beton sangat berpengaruh terhadap lendutan sebuah balok, baik lendutan jangka pendek maupun jangka panjang. Model benda uji yang diteliti mempunyai panjang 4000 mm dengan dimensi penampang bervariasi yaitu 250/500, 250/550, 300/400, 300/450 yang dibebani sebesar 250 kg/m<sup>2</sup> dan 300/500, 300/550, 350/400, 350/450 yang dibebani 400 kg/m<sup>2</sup>. Hasil penelitian yang melatarbelakangi kesimpulan tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.5 dan Gambar 2.6.



Gambar 2.5 Grafik hubungan lendutan dengan mutu beton pada pembebanan 250 kg/m<sup>2</sup> (Wiyono, 2013)



Gambar 2.6 Grafik hubungan lendutan dengan mutu beton pada pembebanan 400 kg/m<sup>2</sup> (Wiyono, 2013)

Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa mutu beton sangat mempengaruhi lendutan dari sebuah struktur.

#### 2.1.4 Momen Retak dan Lendutan

Retak pada beton dapat terjadi akibat tarik langsung, lentur, geser dan torsi. Adapun pembahasan yang banyak dilakukan dalam penelitian ini adalah retak akibat lentur. Retak lentur pada beton telah diatur dalam SNI maupun *ACI*, dimana momen retak pada beton dibatasi oleh persamaan (2.7) :

$$M_{cr} = f_r \cdot I_g / Y_t \quad \dots\dots\dots \text{pers. (2.7)}$$

$f_r$  = Tegangan retak beton

$M_c$  = momen retak

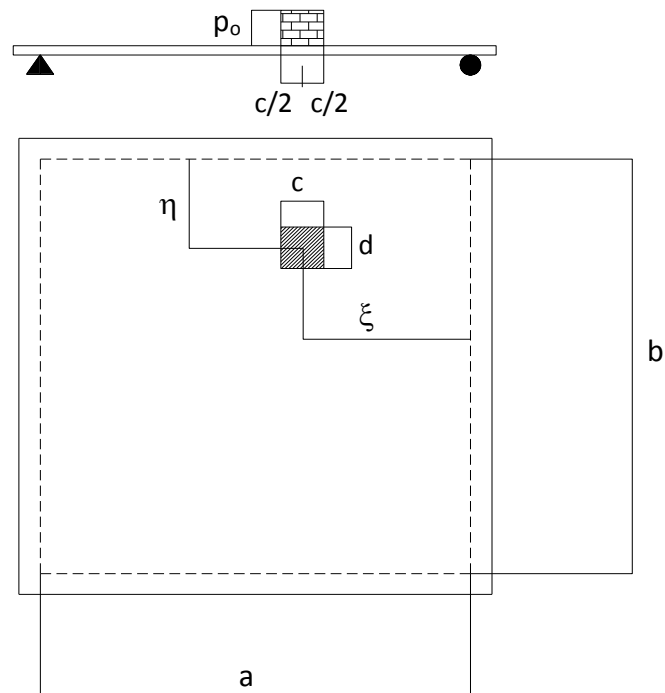
$I_g$  = momen inersia penampang dengan mengabaikan penampang tulangan

$Y_t$  = jarak sisi terluar penampang terhadap garis netral

Dengan demikian retak pertama yang terjadi pada serat terluar dari beton tidak dipengaruhi oleh tulangan terpasang.

#### 2.1.5 Analisis Perhitungan Momen dan Lendutan pada Pelat Beton Dua Arah

*Rudolph Szilard*, (1974) memberikan cara penyelesaian praktis dengan menggunakan *deret fourier* untuk menghitung lendutan dan momen pada pelat dua arah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7 dengan menggunakan persamaan (2.8) sampai dengan (2.10) :



Gambar 2.7 Model Pembebanan pada Pelat Dua Arah

**Lendutan :**

$$w = \frac{16p_0}{D\pi^6} \sum_m \sum_n \frac{\sin \frac{m\pi\xi}{a} \sin \frac{n\pi\eta}{b} \sin \frac{m\pi c}{2a} \sin \frac{n\pi d}{2b}}{mn \left[ \frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} \right]^2} \times \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b^2} \dots\dots\dots \text{pers. (2.8)}$$

$$m = 1, 2, 3, \dots\dots\dots$$

$$n = 1, 2, 3, \dots\dots\dots$$

***Momen :***

Untuk  $a = b$  dan  $\xi = \eta = a/2$ , maka

$$(m_x)_{\max} = k_1 c d p_0 \dots\dots\dots \text{pers. (2.9)}$$

$$(m_z)_{\max} = k_2 c d p_0 \dots\dots\dots \text{pers. (2.10)}$$

Nilai  $k_1$  dan  $k_2$  dapat diambil dari Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Nilai k1 dan k2

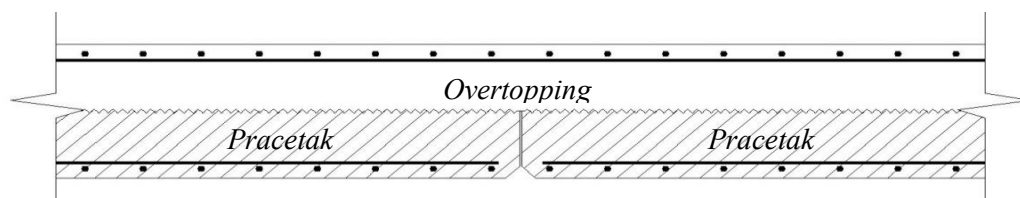
$\begin{matrix} c/a \\ d/a \end{matrix}$	0	0.2	0.4	0.6
0	$\infty$	0.251	0.180	0.141
0.2	0.308	0.214	0.161	0.127
0.4	0.232	0.179	0.141	0.113
0.6	0.188	0.150	0.121	0.099

### 2.1.6 Model Sambungan antar Pelat Pracetak Sistem *Half Slab Precast* pada Usulan Penelitian Sebelumnya

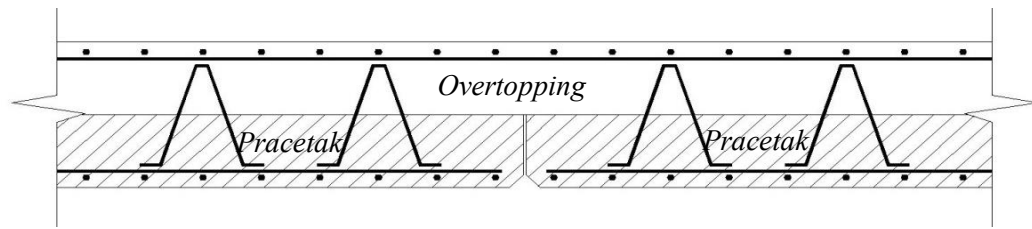
Model sambungan antar pelat pracetak pada sistem *half slab precast* belum pernah ada penelitiannya, khususnya untuk panel pelat yang berperilaku sebagai pelat dua arah. Padahal hal ini sangat penting, karena banyak terjadi perubahan – perubahan desain dari pelat sistem monolit menjadi *half slab precast* tanpa mempertimbangkan dampak yang akan terjadi karena terjadinya perubahan sifat dari pelat dua arah menjadi pelat satu arah, sehingga terjadi kerusakan retak.

Ada beberapa model yang diusulkan dari suatu literatur “**Precast Concrete Connection Detail (Structural Design Manual)**” dari *Society for Studies on the use of Precast Concrete Netherlands, 1987* , namun tidak disertai perhitungan atau hasil penelitian yang jelas. Oleh karena itu perlu adanya penelitian tentang hal tersebut.

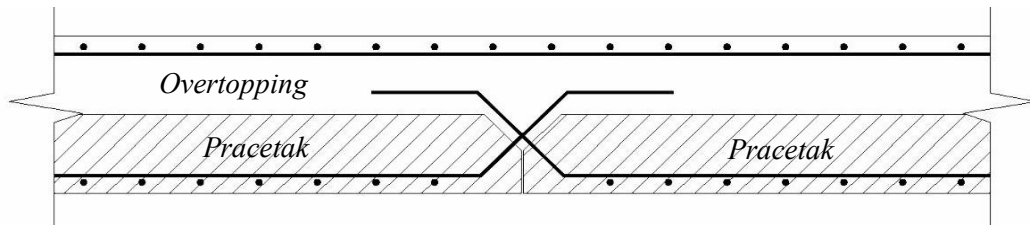
Beberapa model sambungan antar pelat pracetak yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan, seperti diperlihatkan pada Gambar 2.8 Gambar 2.9 dan Gambar 2 .10.



Gambar 2.8 Pelat sistem Pracetak dengan mengkasarkan komponen Pracetak (*Society for Studies on the use of Precast Concrete Netherlands, 1987*)



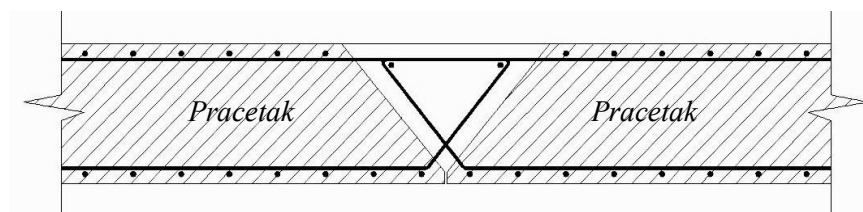
Gambar 2.9 Pelat sistem Pracetak dengan Penghubung Geser (*Society for Studies on the use of Precast Concrete Netherlands, 1987*)



Gambar 2.10 Sambungan pelat Pracetak yang sering dilaksanakan di lapangan (*Society for Studies on the use of Precast Concrete Netherlands, 1987*)

Sistem sambungan seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.8, Gambar 2.9 dan Gambar 2.10 adalah untuk pelat yang berperilaku sebagai pelat satu arah. Sehingga bila sebuah panel pelat monolit berupa pelat dua arah, kemudian diubah menjadi sistem *half slab precast* dengan sistem sambungan seperti Gambar 2.8 sampai dengan Gambar 2.10 tanpa melakukan perhitungan ulang, maka akan terjadi kerusakan retak, karena pelat pracetaknya hanya bisa menerima momen di salah satu arah saja.

Dari literatur tersebut juga disajikan model sambungan antar pelat pracetak dengan ketebalan penuh (*Full Depth*), dimana pelat pracetak tidak dibagi menjadi komponen pracetak dan *overtopping*, namun keseluruhan ketebalan dilakukan penyambungan dengan sistem sambungan seperti diperlihatkan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Pelat sistem Pracetak dengan Penghubung Geser (*Society for Studies on the use of Precast Concrete Netherlands, 1987*)

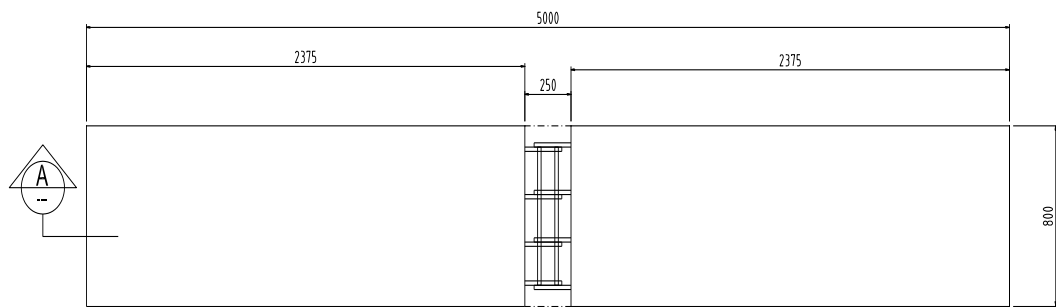
Sambungan antar pelat pracetak dengan sistem yang diperlihatkan pada Gambar 2.8, Gambar 2.9, Gambar 2.10 maupun Gambar 2.11 semuanya hanya berupa usulan model sambungan tanpa didukung dengan penelitian dan perhitungan yang jelas. Dengan demikian penelitian tentang model – model lain dari sambungan antara pelat pracetak sangat perlu dilakukan dengan disertai analisis dan percobaan yang dapat mendukung.

#### **2.1.7 Penelitian Pendahuluan tentang Sambungan antar Pelat Pracetak Sistem *Half Slab Precast* yang Dilakukan**

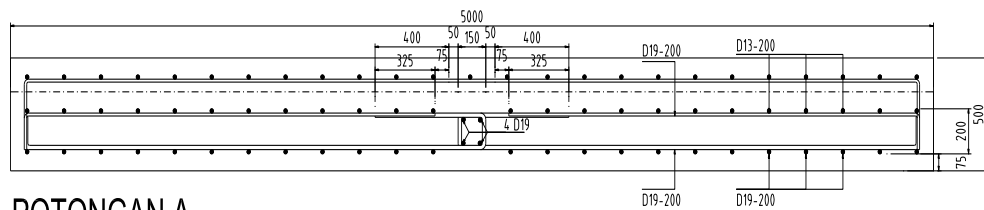
Dalam mendukung penelitian tentang model sambungan antara pelat beton pracetak, maka Irawan dkk, (2012) telah melakukan penelitian pendahuluan secara eksperimental untuk mengetahui kapasitas salah satu model sambungan antara pelat beton pracetak dengan obyek perencanaan salah satu proyek dermaga di Jawa Timur dengan dimensi panel pelat 10 m x 10 m dan ketebalannya 50 cm yang perencanaan awalnya merupakan beton monolit.

Terhadap perencanaan tersebut dilakukan perubahan menjadi *half slab precast* dengan pembagian ketebalan 35 cm berupa komponen pracetak sebanyak 5 buah berukuran 2 m x 10 m dan tebal 15 cm berupa beton cor di tempat / *cast in situ*. Namun untuk meyakinkan perubahan tersebut dilakukan percobaan dengan model benda uji sebagai berikut:

1. Benda Uji model 1, adalah benda uji yang dicor langsung dengan ketebalan 50 cm dengan penulangan seperti pada Gambar 2.12.
2. Benda Uji model 2, adalah benda uji yang dibuat sistem pracetak dengan ketebalan 35 cm dan dibuat secara cast in situ dengan ketebalan 15 cm. Sistem penulangannya dapat dilihat pada Gambar 2.13.
3. Benda Uji model 3, adalah benda uji yang dicor langsung dengan ketebalan 50 cm dengan penulangan seperti pada Gambar 2.14.

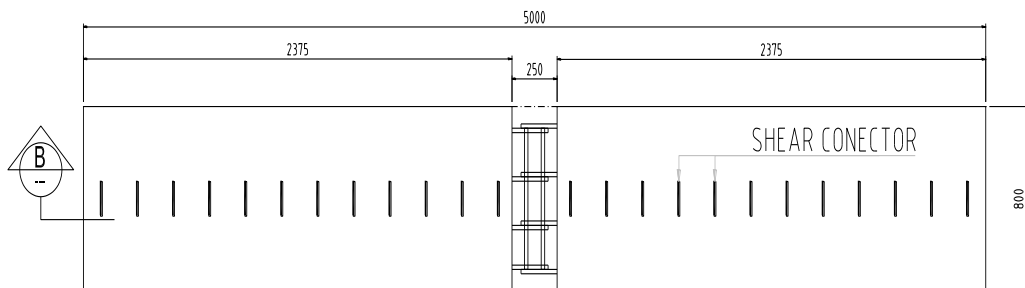


DENAH MODEL 1

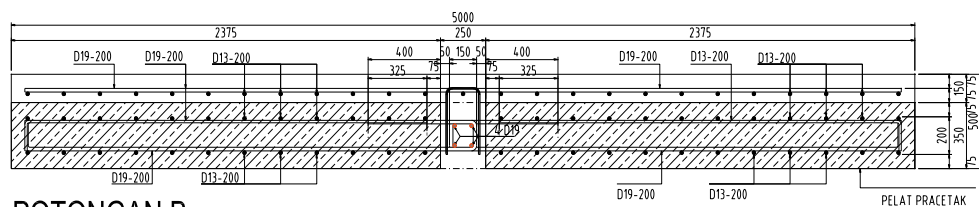


POTONGAN A

Gambar 2.12 Sambungan pelat pracetak model-1 pada penelitian pendahuluan (Irawan, 2012).

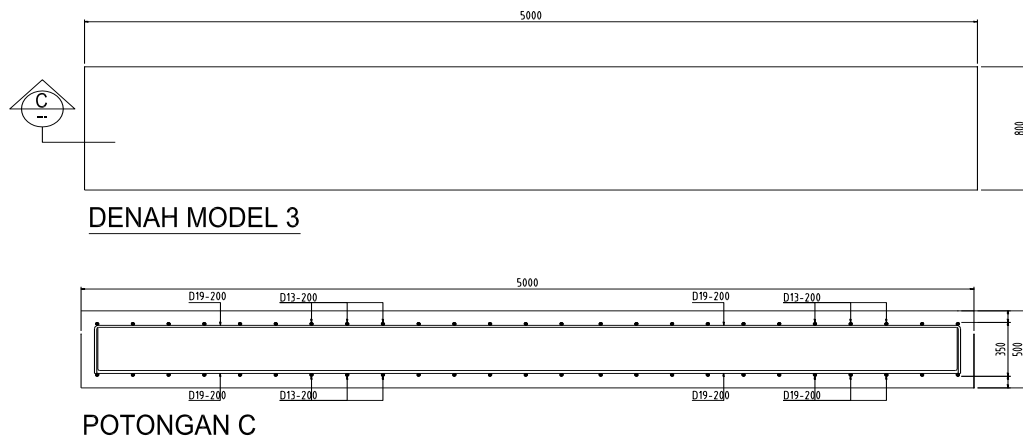


DENAH MODEL 2



POTONGAN B

Gambar 2.13 Sambungan pelat pracetak model-2 pada penelitian pendahuluan (Irawan, 2012)



Gambar 2.14 Sambungan pelat pracetak model-3 pada penelitian pendahuluan (Irawan, 2012)

Penelitian pendahuluan tentang model sambungan dilakukan terhadap model sambungan antara beton pracetak (Gambar 2.13) dibandingkan dengan beton yang di cor di tempat / cast in situ (Gambar 2.12 dan Gambar 2.14).

Hasil dari percobaan di laboratorium, diketahui kemampuan momen retak untuk masing – masing benda uji dengan beberapa variasi umur beton.

Tabel 2.6 Hasil pengujian penelitian pendahuluan

Benda Uji	Umur Beton	Beban Retak	Momen Retak	Beban Ult	Momen Ult
		$P_{cr}$ (ton)	$M_{cr}$	$P_{ult}$ (ton)	$M_{ult}$ (ton)
Model 1 (Monolit)	28 hari	17.70	8.97	52.60	26.42
Model 1 (Monolit)	35 hari	20.90	10.57	52.60	25.92
Model 2 (Sambungan)	Overtopping 14 hr	15.20	7.72	53.00	26.62
	Precast 28 hr				
Model 1 (Monolit)	31 hari	17.60	8.92		
Model 1 (Monolit)	32 hari	17.50	8.87		
Model 3 (Monolit)	22 hari	16.30	8.27	50.90	25.57

Dilihat dari hasil pengujian pada Tabel 2.6, menunjukkan bahwa nilai momen retak ( $M_{crack}$ ) dari benda uji model 2 (Sambungan) mempunyai nilai yang terkecil dengan perbedaan kekuatan sekitar 16% dibandingkan dengan model monolit.



Model sambungan pendahuluan ini telah dicobakan di lapangan, hasilnya sebagian besar tidak terjadi kerusakan seperti pada Gambar 2.15, namun masih ada beberapa bagian yang masih terjadi kerusakan retak seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.16.



Gambar 2.15 Sambungan pelat pracetak model-2 yang berhasil di lapangan



Gambar 2.16 Sambungan pelat pracetak model-2 yang gagal di lapangan

Melihat dari Gambar 2.16, berarti sambungan antar pelat pracetak masih belum sempurna, sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut. Hal ini karena pembuatan benda uji yang dibuat kemungkinan masih belum seragam dan kualitasnya belum dikontrol dengan baik. Oleh karena itu penelitian lanjutannya perlu dibuat yang lebih baik.

Penelitian eksperimental tersebut telah dilakukan verifikasi secara *FEM* oleh Mufdilawati dkk (2015) yang hasilnya bahwa perbedaan kemampuan menerima beban retak untuk benda uji dengan sambungan pada saat awal retak mengalami penurunan sekitar 26 % dibandingkan dengan pelat monolit.

### **2.1.8 Cara Pembebanan untuk Pengujian Lantai Pelat Beton.**

Dalam melakukan penelitian terhadap pelat beton banyak cara yang bisa digunakan. Namun demikian tergantung dari keperluan dan tujuan penelitian yang diinginkan. Adapun cara pengujian pelat beton yang dapat dilakukan adalah sebagai berikut :

#### **1. Pengujian dengan Beban Monotonik ( satu arah )**

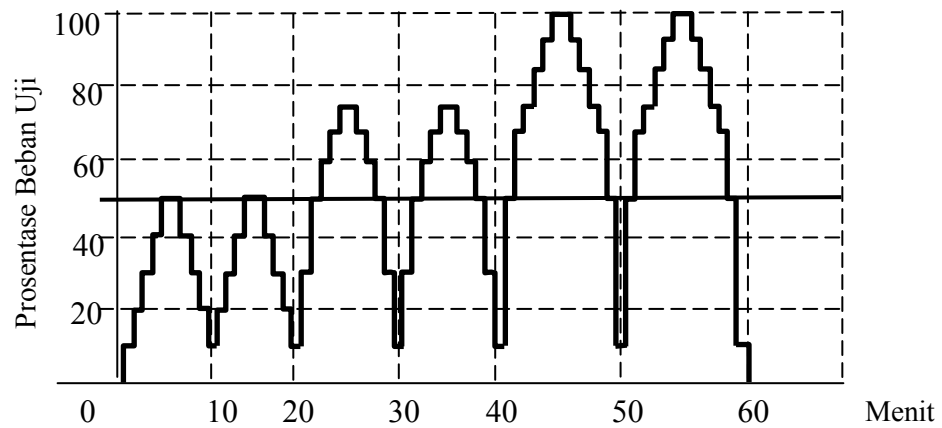
Pembebanan Monotonic satu arah adalah pembebanan yang digunakan untuk menguji kemampuan lentur pada pelat / panel beton dengan beban satu arah yang dinaikkan terus menerus secara bertahap sampai pada batas yang diinginkan seperti yang diatur dalam :

- *ASTM C-78-02* yang mengatur tentang uji lentur pada pelat dan balok dengan dua titik beban.
- *ASTM C-293-02* yang mengatur tentang uji lentur pada pelat dan balok dengan satu titik beban.
- *ASTM C-393-00* yang mengatur tentang uji lentur untuk pada komponen struktur berlapis (*Sandwich*).

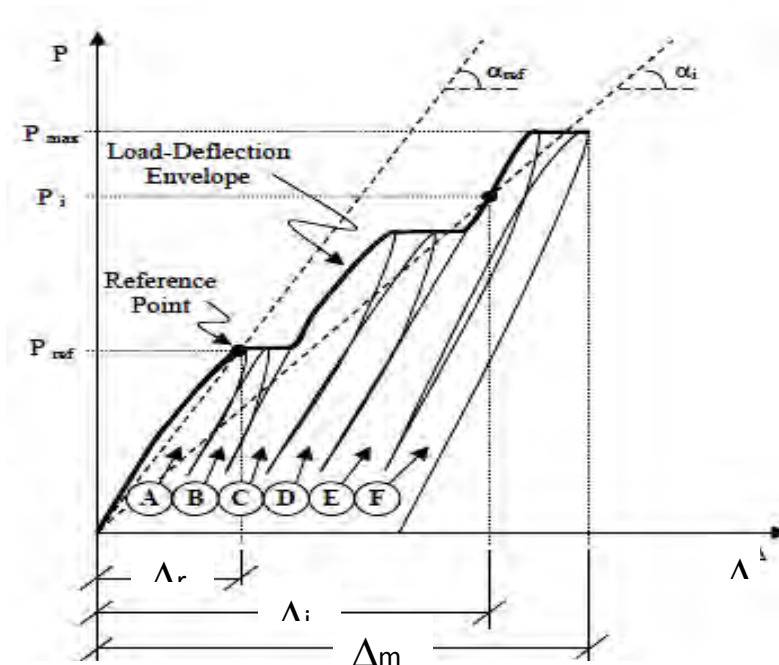
#### **2. Pengujian dengan Beban Siklik ( *loading - unloading* )**

Selain uji pembebanan dengan beban Monotonik satu arah, ada juga yang mengatur cara pengujian dengan beban Siklik, namun hanya dengan beban *loading – unloading* yang dilakukan dengan skala penuh pada bangunan, seperti diatur dalam *ACI 437R-03* yang biasa digunakan untuk evaluasi pada struktur pelat lantai beton.

Beban siklik tersebut adalah beban yang dapat dilakukan untuk mengevaluasi keandalan struktur pelat dengan waktu yang singkat atau sekitar 60 - 120 menit. Bila dibandingkan dengan standard dari *ACI 318 Chapter 20* yang memerlukan durasi pengujian selama 24 jam, bahkan bila waktunya ditambah untuk keperluan setup benda uji, bisa mencapai 48 jam. Adapun pembebanan yang dilakukan berdasarkan *ACI 437R-03* seperti diperlihatkan pada Gambar 2.17 dan Gambar 2.18.



Gambar 2.17 Beban siklik berdasarkan urutan waktu (*ACI 437R-03*)



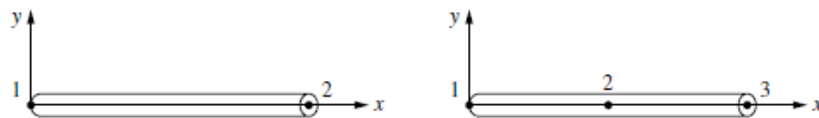
Gambar 2.18 Skematik beban – lendutan (*ACI 437R-03*)

### 2.1.9 Penggunaan Analisis Elemen Hingga.

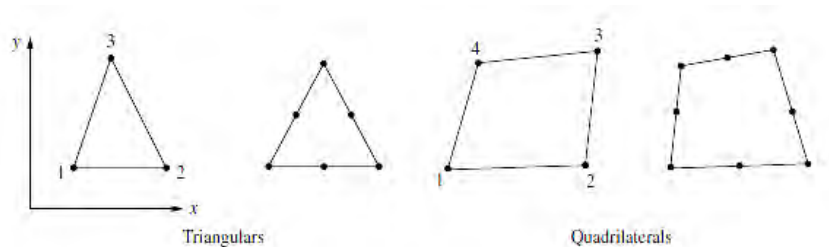
*Finite Element Method (FEM)* atau Metode Elemen Hingga (MEH) adalah prosedur *FEM* yang dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah - masalah dalam bidang rekayasa (*engineering*), seperti analisa tegangan pada struktur, frekuensi natural dan *modeshape*-nya, perpindahan panas, elektromagnetis, serta aliran fluida.

Metode ini digunakan apabila penyelesaian eksak analisis manual tidak dapat menyelesaikannya. Inti dari *FEM* adalah membagi suatu benda yang akan dianalisa, menjadi beberapa bagian dengan jumlah hingga (*finite*). Bagian-bagian ini disebut elemen yang tiap elemen satu dengan elemen lainnya dihubungkan dengan nodal (*node*). Kemudian dibangun persamaan matematika yang menjadi representasi benda tersebut. Proses pembagian benda menjadi beberapa bagian disebut *meshing*.

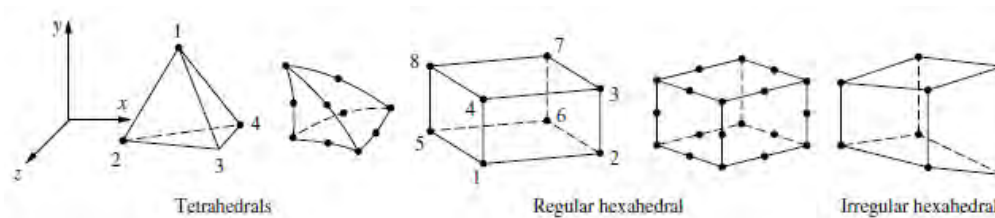
Elemen dalam *FEM* terdiri dari beberapa model seperti ditunjukkan pada Gambar 2.19, sampai dengan Gambar 2.21.



Gambar 2.19 Elemen batang



Gambar 2.20 Elemen dua dimensi



Gambar 2.21 Elemen tiga dimensi

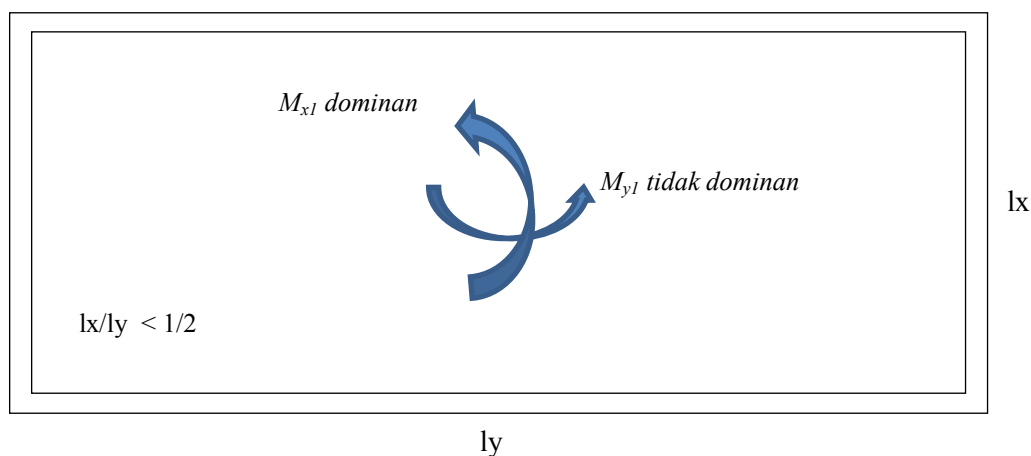
Dalam menyelesaikan analisisnya, akan dilakukan dengan bantuan komputer dengan software yang sesuai. Untuk analisis pada beton pracetak, diduga akan ada perbedaan yang terjadi bila dibandingkan dengan sistem monolit. Hal ini disebabkan karena pada beton pracetak ada terdapat hubungan antara

beton lama dengan beton baru yang tentunya mempunyai kekuatan tidak sama dengan beton yang dicor secara monolit.

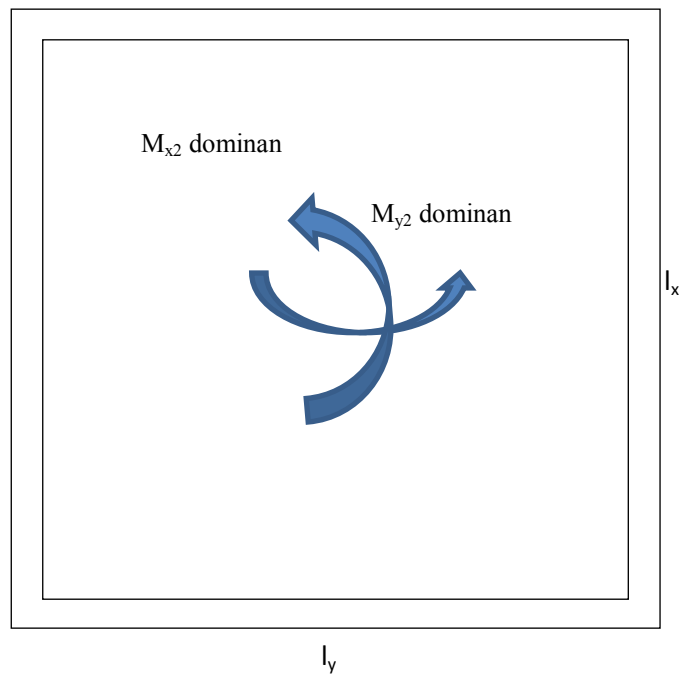
Untuk itu memodelkan hubungan beton lama dan beton baru, seharusnya ada satu lapisan *interface* yang juga harus dimodelkan. Lapisan *interface* sendiri merupakan salah satu komponen yang cukup lemah yang dapat memicu terjadinya kegagalan pada struktur beton pracetak. Sehingga permodelan elemen ini perlu diperhatikan secara seksama. Permodelan *interface* antara beton lama dan beton baru dapat dilakukan dengan menggunakan menu kohesif elemen (*Abaqus*, 2004). Namun bila antara beton lama dan beton baru diberikan *shear connector*, maka interaksi antara beton lama dan beton baru diasumsikan sempurna, sehingga dalam penelitian lapisan *interface* tidak dimodelkan, namun dimodelkan terikat sempurna.

## 2.2 Dasar Teori

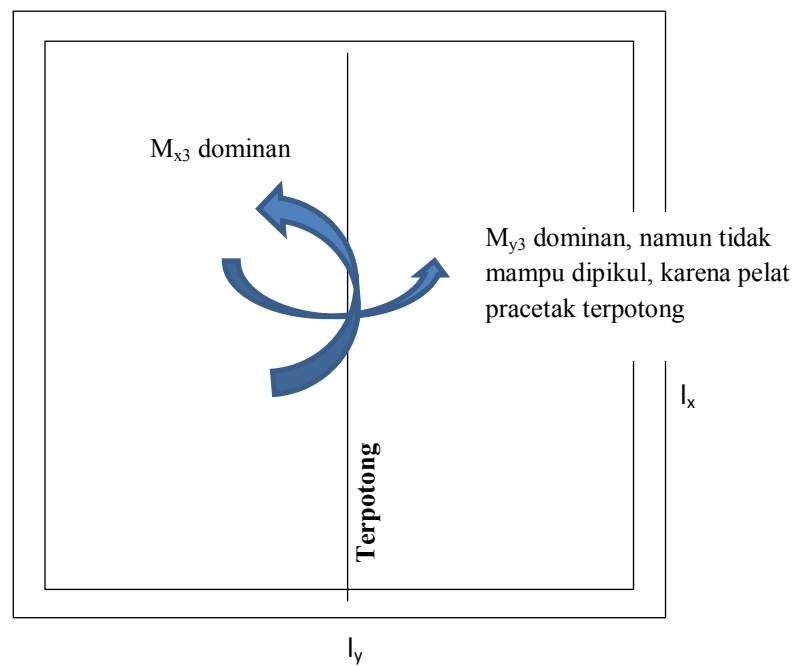
Sambungan antar komponen pracetak yang biasanya digunakan di lapangan seperti pada Gambar 1.2 adalah model sambungan dimana sambungan tersebut lebih berfungsi hanya menahan geser vertikal antara pelat pracetak. Namun sangat lemah menahan momen arah tegak lurus sambungan atau sangat lemah menahan tarikan pada arah tegak lurus potongan.



Gambar 2.22 Panel pelat satu arah



Gambar 2.23 Model pelat monolit dua arah



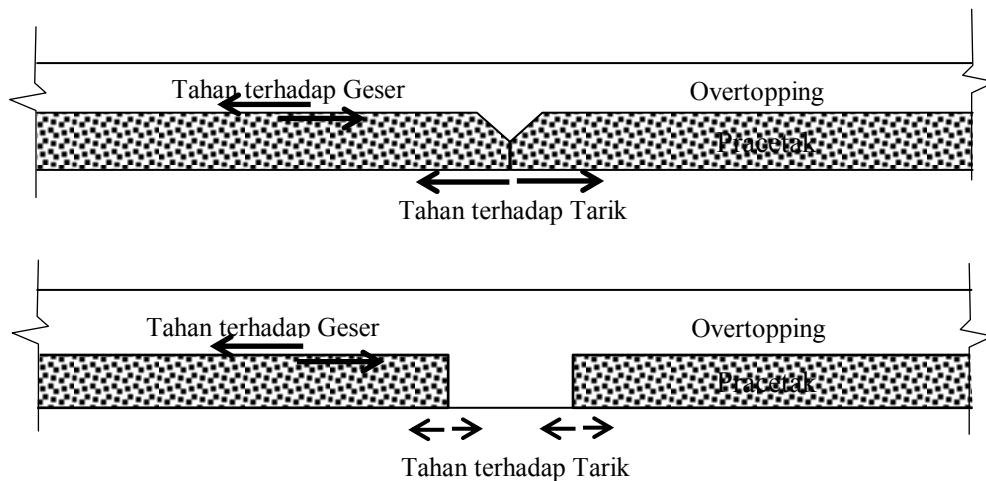
Gambar 2.24 Model half slab precast dua arah

Pada Gambar 2.22 ditunjukkan panel pelat satu arah, dimana momen pada arah bentang pendek ( $M_{x1}$ ) adalah dominan, sedangkan pada arah bentang panjang menjadi tidak dominan. Pada Gambar 2.23 ditunjukkan panel pelat monolit 2 arah dimana  $ratio\ l_x/l_y < 2$  atau  $l_x/l_y > \frac{1}{2}$  (SNI 2847-2013, pasal 13.6.1.2), dimana momen pada arah kedua ( $M_{x2}$  dan  $M_{y2}$ ) sumbunya sama – sama dominan. Kondisi seperti ini bila dilakukan pemotongan dengan sambungan yang tidak sempurna seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.24, maka momen pada arah tegak lurus potongan ( $M_{y2}$ ) akan menjadi tidak mampu ditahan oleh pelat beton, sehingga akan mengakibatkan bertambahnya momen pada arah potongan ( $M_{x2}$ ). Sehingga bila tidak dilakukan modifikasi jumlah dan dimensi tulangan pada arah potongan, maka tidak akan mampu diterima oleh komponen pracetak yang berakibat timbul kerusakan retak. Hal ini akan dapat diatasi bila sambungan antar pelat pracetak merupakan sambungan yang sempurna dapat menerima momen pada arah tegak lurus potongan antar pracetak. Oleh karena itu penelitian tentang sambungan antara pelat beton pracetak sangat perlu dilakukan. Dari studi kasus yang ditemui tersebut, timbul pemikiran untuk menciptakan model sambungan antara pelat pracetak pada sistem *half slab precast*, khususnya untuk panel pelat yang berperilaku sebagai pelat dua arah.

### **2.2.1. Konsep model sambungan antar komponen pracetak pada two way half slab precast**

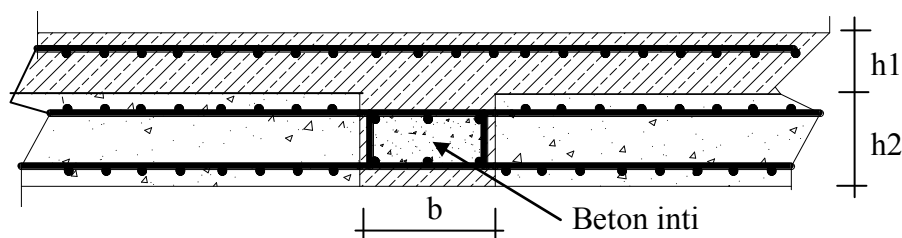
Berdasarkan model sambungan yang telah diuji pada penelitian pendahuluan, maka pada penelitian ini dikembangkan lagi untuk model – model lain yang diperkirakan akan mempunyai kekuatan yang lebih besar dari kekuatan model sambungan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.13. Selain itu juga dibuat model benda uji yang merupakan pengembangan dari model seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.11.

Permasalahan yang harus dipecahkan untuk mendapatkan sambungan yang kuat adalah kekuatan hubungan antara beton lama yang merupakan komponen pracetak dan beton baru yang merupakan komponen *overtopping* seperti ditunjukkan pada Gambar 2.25.



Gambar 2.25 Permasalahan yang harus dipecahkan / diselesaikan

Adanya permasalahan yang ditunjukkan pada Gambar 2.25, maka perlu diciptakan hubungan antara beton lama dan beton baru baik dalam menerima geser maupun tarik. Ide model sambungan yang dilakukan pada penelitian pendahuluan cukup memberikan gambaran tentang peran bagian – bagian beton dan tulangan di sekitar sambungan yang secara sketsa dapat dilihat pada gambar 2.26. Untuk kekuatan gesernya akan tergantung dari tingkat kekasaran permukaan beton lama. Sedangkan untuk kekuatan tariknya sangat tergantung dari kekuatan tarik tulangan, kekuatan tekan beton baru, baik yang di sisi atas maupun yang ada di sekitar sambungan tulangan.



Gambar 2.26 Sketsa model sambungan antara pelat beton pracetak

Bila dilihat dari sketsa yang ditunjukkan pada Gambar 2.26, bagian yang dinamakan beton inti tersebut sangat berperan dalam menerima beban tarik akibat



momen lentur yang terjadi. Untuk itu kekerasan yang tinggi dari beton inti sangat diperlukan, sehingga pelat secara keseluruhan dapat menahan lentur dengan baik.

Pada Penelitian Pendahuluan, karakteristik beton inti dibuat sama dengan karakteristik beton *overtopping*. Hal ini akan sangat memudahkan pelaksanaan di lapangan.

Konsep usulan model sambungan yang diuji dalam penelitian ini adalah penyempurnaan dan pengembangan dari penelitian pendahuluan yang telah dilakukan dengan mempertimbangkan peran dari beton inti, kemampuan geser antara beton lama dan beton baru serta peran dari tulangan di sekitar sambungan, sehingga perlu dilakukan penyempurnaan dari beberapa hal sebagai berikut :

1. Dimensi beton inti seperti pada Gambar 2.26 perlu diperbesar
2. Model tulangan pada sambungan antar komponen pracetak dibuat bentuk yang saling mengikat.
3. Mutu beton komponen pracetak perlu ditingkatkan.

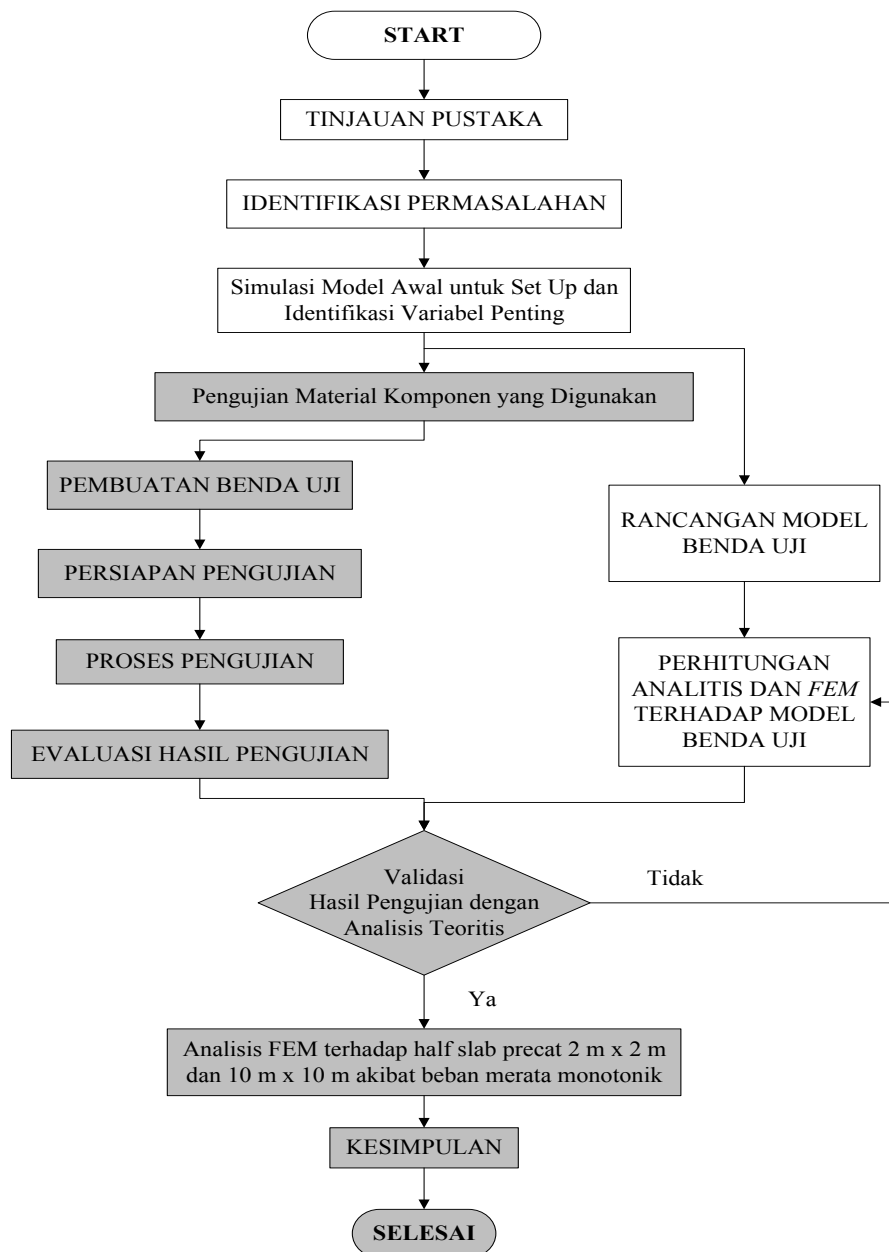
*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB III

### METODOLOGI

#### 3.1. Diagram Alir

Untuk mendukung keberhasilan penelitian, maka perlu diatur langkah – langkah yang sistematis dan terarah. Oleh karena itu secara skematik metodologi penelitian dapat dilihat pada Diagram Alir pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 3.1, secara rinci dapat dijelaskan pada Bagian 3.2 sampai dengan Bagian 3.10.

### **3.2. Kegiatan Tinjauan Pustaka**

Tinjauan Pustaka adalah merupakan kegiatan awal yang harus dilakukan untuk menunjang pelaksanaan dan arah penelitian yang dilakukan. Sebagian besar telah dilakukan tinjauan pustaka seperti yang telah dijelaskan pada BAB I dan BAB II. Tinjauan Pustaka difokuskan pada hal – hal yang berhubungan dengan masalah sambungan antar pelat beton pracetak, meliputi literatur pendukung dan penelitian – penelitian sebelumnya yang membahas tentang lekatan dan geseran antara beton lama dan beton baru, material beton pracetak, model sambungan antara beton pracetak, dimana topik - topik pembahasan pustaka tersebut adalah merupakan bagian pendukung penelitian yang dilakukan.

### **3.3. Identifikasi Permasalahan**

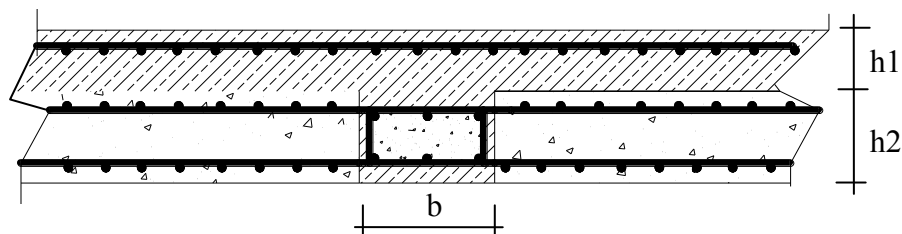
Penelitian ini dilakukan diawali dari identifikasi permasalahan yang timbul akibat perubahan cara pelaksanaan dari *cast in situ* menjadi half slab precast. Apabila perubahan tersebut tidak disertai perhitungan – perhitungan yang cermat, maka akan berpotensi terjadinya kerusakan., dimana penjelasan tentang permasalahan akibat adanya perubahan cara pelaksanaan dari cast in situ menjadi half slab precast telah dijelaskan pada Bagian 1.1 dan Bagian 1.2.

### **3.4. Simulasi Awal**

Simulasi Model Awal adalah suatu kegiatan dimana semua gagasan – gagasan model sambungan antara pelat beton pracetak dikumpulkan untuk dicoba dianalisis dengan menggunakan *FEM* atau dengan perhitungan analitis guna mendapatkan bentuk dan dimensi benda uji yang baik, mudah dilaksanakan dan murah serta untuk mengidentifikasi variabel – variabel yang mempengaruhi kekuatan sambungan, termasuk penentuan rasio ketebalan komponen pracetak terhadap ketebalan pelat secara keseluruhan. Hasil dari kegiatan simulasi model awal ini diharapkan menjadi usulan model sambungan antara pelat beton pracetak yang kemudian dilanjutkan sebagai obyek penelitian sekaligus untuk keperluan pengaturan proses pengujian.

Kegiatan simulasi model awal ini dapat disebut juga sebagai kegiatan coba – coba (*Trial and Error*) terhadap gagasan model sambungan, sehingga banyak hal yang harus dilakukan untuk mendapatkan solusi permasalahan sambungan antara pelat beton pracetak, khususnya masalah kemampuan geseran dan lekatan serta masalah rasio ketebalan antara komponen beton pracetak dengan komponen overtoppingnya. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan hubungan yang kuat antara beton lama dan beton baru serta sambungan antara pelat pracetak yang kuat.

Adapun model sambungan yang diusulkan dalam penelitian ini adalah pengembangan dari penelitian pendahuluan. Hasil dari penelitian pendahuluan trend yang mendekati sama dengan pelat tanpa sambungan (monolit), walaupun nilainya masih lebih kecil dibandingkan dengan pelat monolit. Untuk prediksi kekuatan sambungan pada Penelitian Pendahuluan yang ditunjukkan pada Gambar 3.2. bila dirangkai menjadi satu kesatuan dalam suatu panel pelat dua arah yang ditumpu di empat sisinya, masih diperlu dilakukan penelitian lebih lanjut.

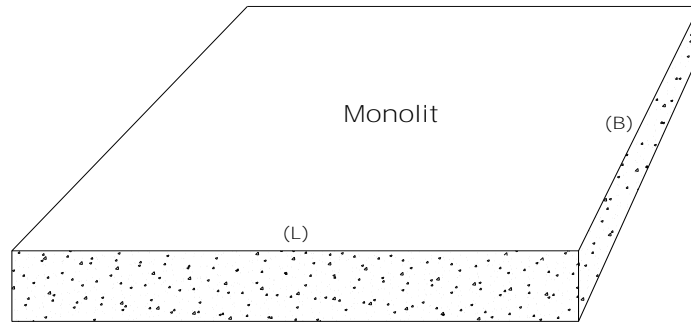


Gambar 3.2 Benda uji penelitian pendahuluan

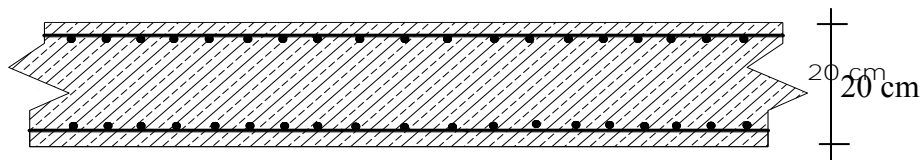
Dalam penelitian ini diusulkan bahwa benda uji yang dibuat berupa rangkaian dari beberapa komponen pelat pracetak dalam suatu sistem *half slab precast* dua arah berdimensi proporsional yang dapat dilaksanakan di dalam laboratorium. Dalam hal ini benda uji diusulkan dibuat berukuran 220 cm x 220 cm dengan ketebatan pelat ( $h_1$  dan  $h_2$ ) ditentukan berdasarkan hasil kegiatan simulasi model awal yang mempertimbangkan kemampuan alat angkat dan angkut serta luas fasilitas Laboratorium yang ada.

Dimensi benda uji adalah berukuran 220 cm x 220 cm, tumpuan sederhana diletakkan di keempat sisinya sejarak masing – masing 10 cm ke arah dalam, sehingga ukuran bentang bersih pelat adalah 200 cm x 200 cm.

Adapun model pelat uji yang digunakan sebagai pembanding adalah pelat monolit dan dinamakan pelat model – A (Gambar 3.3). Potongan melintang penulangannya seperti pada Gambar 3.4.

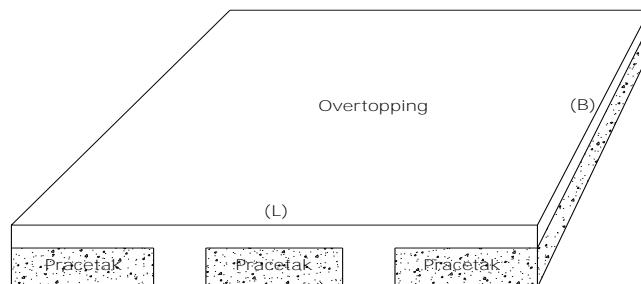


Gambar 3.3 Pelat monolit model-A (3-Dimensi)

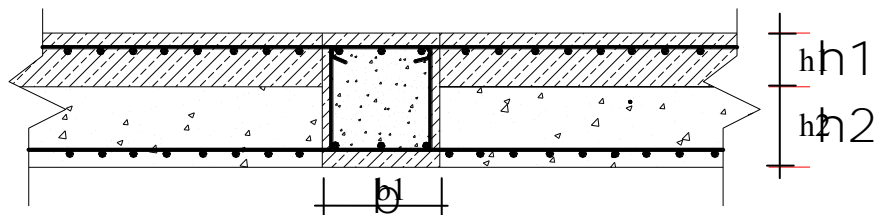


Gambar 3.4 Potongan melintang penulangan pelat monolit model-A

Sambungan antar pelat pracetak alternative yang diusulkan adalah pelat Model-B dan Model-C. Adapun pelat Model-B seperti ditunjukkan pada Gambar 3.5. dan Gambar 3.6.

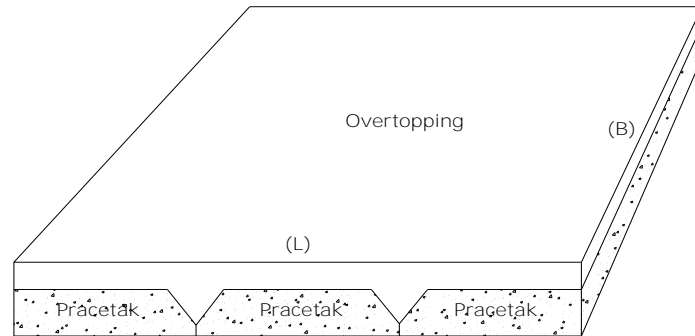


Gambar 3.5 Pelat dengan sambungan model-B (3-Dimensi)

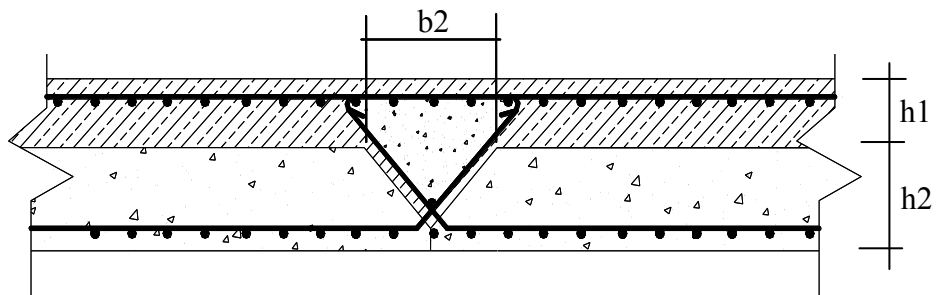


Gambar 3.6 Potongan melintang penulangan pelat pracetak model - B

Sedangkan sambungan pelat pracetak Model-C seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.7. dan 3.8.



Gambar 3.7 Pelat dengan sambungan model – C (3-Dimensi)



Gambar 3.8 Potongan melintang penulangan pelat pracetak model - C

Benda uji panel *half slab precast* dengan sambungan model-B (Gambar 3.5 dan 3.6) adalah merupakan penyempurnaan dan pengembangan dari sambungan antara komponen pracetak pada benda uji yang telah dilakukan pada penelitian pendahuluan seperti yang dijelaskan pada Bagian 2.1.7 dengan memperbesar beton inti. Kondisi ini diharapkan akan memperbesar kekuatan tekan beton inti, sehingga berakibat sambungan akan semakin tahan terhadap tarik akibat momen lentur yang terjadi.

Benda uji panel *half slab precast* dengan sambungan model-C (Gambar 3.7 dan 3.8) adalah merupakan pengembangan dari model yang diusulkan dalam “ **Precast Concrete Connection Detail - Structural Design Manual** ” ( *Society for Studies on the use of Precast Concrete Netherlands* , 1987 ) , dimana dalam usulan tersebut, model sambungan bukan merupakan *half slab precast*, namun berupa

*full depth precast*. Pada benda uji dengan sambungan model-C ini dibuat sebagai *half slab precast*. Besarnya nilai  $b$ ,  $h_1$  dan  $h_2$ , ditentukan berdasarkan coba –coba pada kegiatan simulasi model awal dengan mempertimbangkan kewajaran dan kemudahan pelaksanaan. Dimensi  $b$ ,  $h_1$  dan  $h_2$  ditentukan seperti yang dijelaskan pada Bagian 4.1. Dimensi tersebut akan dapat divariasi pada penelitian berikutnya untuk mendapatkan nilai yang optimum.

Kekuatan sambungan model-C ini akan dipengaruhi oleh kekuatan lekatan dan geseran antara beton lama dan beton baru, kekuatan tarik tulangan serta kekuatan *beton inti* yang berada di sambungan seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.8. sehingga diharapkan sambungan akan semakin tahan terhadap momen lentur yang terjadi.

Beton inti yang terdapat pada benda uji model-B dan model-C sementara akan digunakan beton yang mempunyai karakteristik sama dengan beton *overtopping* dengan tujuan untuk mempermudah pelaksanaan. Tidak menutup kemungkinan dalam perkembangannya akan digunakan beton yang mempunyai karakteristik yang lebih tinggi atau menggunakan campuran semen non shrink untuk mendapatkan hasil yang lebih efisien.

Benda uji yang sudah direncanakan untuk selanjutnya dilakukan pembuatan di workshop atau laboratorium dan diusahakan sedekat mungkin peralatan uji. Cetakan beton harus dibuat presisi sesuai gambar perencanaan. Beton pracetak direncanakan berumur 14 hari dilakukan pengecoran *overtopping*. Pengujian benda uji dilakukan setelah umur beton *overtopping* berumur 28 hari atau lebih.

### **3.5. Mutu Bahan Komponen Benda Uji Rencana**

Secara umum bahan yang digunakan dalam penelitian ini untuk kebutuhan analisis, mempunyai mutu rencana sebagai berikut :

1. Beton *Overtopping* : K-300 ( $f_c'' = 24.9$  Mpa)
2. Beton Pelat Pracetak : K-400 ( $f_c'' = 33.2$  Mpa)

Untuk baja tulangan digunakan baja polos dengan mutu dengan  $f_y = 240$  Mpa untuk baja polos.



Walaupun sudah direncanakan mutu beton dan mutu baja tulangan, namun untuk konfirmasi, perlu dilakukan pengujian berupa :

1. Pengujian tekan silinder pada material Beton untuk mendapatkan nilai – nilai yang menggambarkan sifat dari material beton.
2. Pengujian tarik baja baja tulangan.
3. Pengujian tekan beton hasil coredrill setelah dilakukan pengujian untuk mendapatkan kuat tekan aktual.

### **3.6. Pembuatan Benda Uji**

Setelah melakukan simulasi model awal, dimana sudah diketahui model sambungan yang sudah dianggap sesuai dengan harapan, khususnya rasio ketebalan komponen pracetak terhadap ketebalan pelat keseluruhan, kekasaran permukaan beton lama, kualitas material, kemudahan pelaksanaan dan biaya yang murah. Benda uji yang dibuat mempunyai bentuk seperti ditunjukkan pada Gambar 3.3 sampai dengan Gambar 3.8.

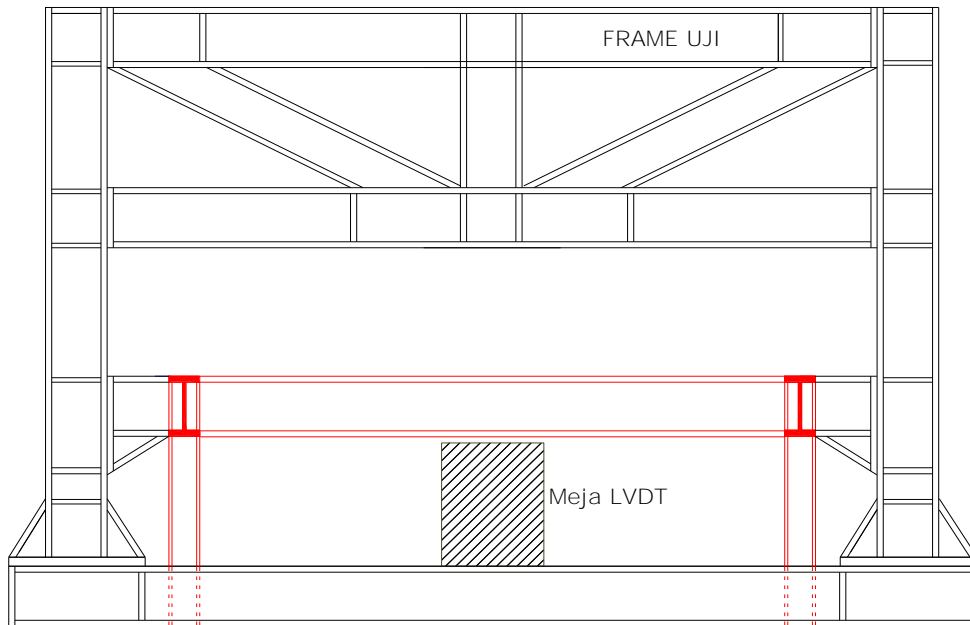
Untuk mendapatkan perilaku lentur dan perilaku sambungan yang baik maka benda uji dibuat dengan dimensi panjang bersih ( $L$ ) = 220 cm dan lebar bersihnya ( $B$ ) = 220 cm, disesuaikan dengan ketersediaan ruang dan kemampuan alat uji. Sedangkan tebal komponen pracetak ( $h_2$ ) dan *overtopping*-nya ( $h_1$ ) yang ditunjukkan pada Gambar 3.5. sampai dengan Gambar 3.8. disesuaikan hasil kegiatan simulasi model awal yang dilakukan seperti yang dijelaskan pada Bagian 3.4. Dimensi benda uji ini diberlakukan untuk semua jenis model sambungan dan untuk setiap jenis model sambungan direncanakan masing – masing dibuat 3 benda uji, sehingga semuanya ada 9 benda uji. Jumlah benda uji sebanyak 3 buah untuk setiap modelnya adalah bukan untuk keperluan analisa statistik, namun untuk cadangan bilamana dalam pengujian ada yang mengalami kegagalan.

### **3.7. Persiapan Pengujian**

Setelah benda uji dibuat, maka untuk selanjutnya dilakukan persiapan pengujian yang berupa :

## 1. Peralatan Uji

Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah uji lentur dengan beban loading dan percobaan berkapasitas 50 ton. Sehingga diperlukan alat berupa *Frame Uji* seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9 *Frame Uji*

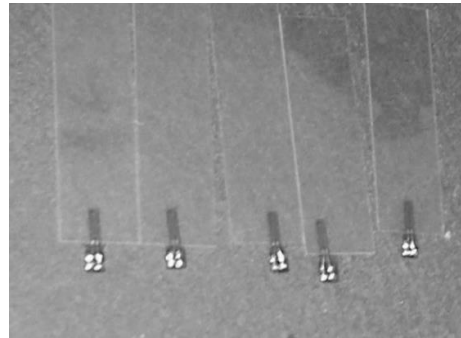
## 2. Peralatan Monitoring Pengujian

Untuk dapat memonitor beban, regangan dan lendutan yang terjadi pada benda uji, maka akan dilengkapi dengan pemasangan peralatan monitoring yang berupa :

1. *Strain Gauge* Baja (Gambar 3.10), *Strain Gauge Beton* (Gambar 3.13), *Strain Gauge Ring Plate* (Gambar 3.14) adalah alat yang dapat memonitor regangan
2. *Transducer* / *LVDT* (Gambar 3.11), adalah alat yang memonitor deformasi / lendutan yang terjadi.
3. *Data Logger* (Gambar 3.12), adalah alat untuk pembacaan monitoring secara otomatis dari *Strain Gauge* dan *Transducer*.



Gambar 3.10 *Transducer / LVDT*



Gambar 3.11 *Srain gauge Baja*



Gambar 3.12 *Data Logger*



Gambar 3.13 *Strain gauge ring Plate*



Gambar 3.14 *Strain gauge beton*

4. *Hydraulic Jack dan Hydraulic Pump* (Gambar 3.15), adalah alat untuk memberikan beban uji.

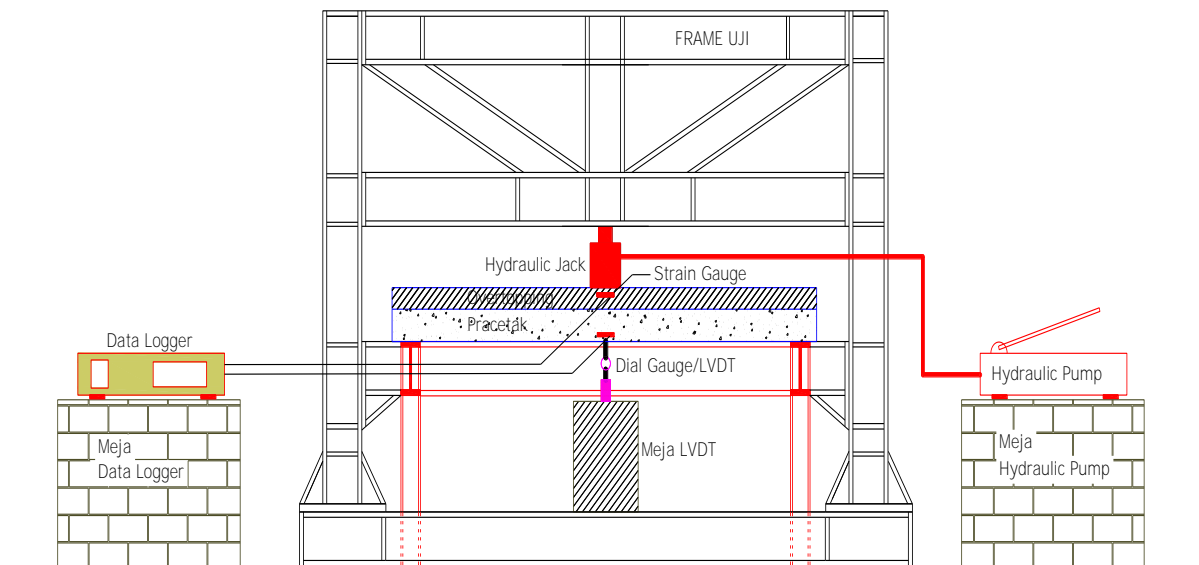


Gambar 3.15 *Pengukur Beban, hydraulic pump dan jack*

Pengujian benda uji dilakukan dengan memberikan beban lentur pada komponen pelat pracetak yang sudah disambung. Sesuai dengan perilaku pelat lantai, bahwa beban yang terjadi sebenarnya adalah sering berupa beban loading dan percobaan. Menurut *ACI 318 Chapter 20*, bahwa pengujian pelat beton pada pelat dapat dilakukan dengan beban merata sesuai dengan perencanaan selama 24 jam. Namun cara tersebut dapat dipersingkat dengan hasil yang disetarakan, yaitu dengan tata cara yang diatur dalam *ACI 437R – 03*, dimana pembebanan dilakukan dengan secara siklik (*loading – unloading*) terpusat seperti telah dijelaskan pada Bagian 2.1.8. Oleh karena itu dalam pengujian penelitian ini juga dilakukan pembebanan Siklik (*loading – unloading*). Pembebanan dilakukan secara bertahap berupa beban lentur dengan besaran tertentu dan kemudian dilepas pelan – pelan, setelah itu diberikan beban lentur lagi dengan besaran yang lebih tinggi dan dilepas pelan – pelan lagi, demikian seterusnya hingga beban maksimum yang direncanakan.

Beban yang diberikan pada benda uji merupakan beban 1 titik yang mempunyai area bentang 200 mm x 200 mm dengan posisi di tengah bidang pelat. Penekanan dilakukan dengan menggunakan hydraulic jack berkapasitas minimal 50 ton yang dikontrol dengan manometer digital.

Tata cara dan tahapan pembebanannya mengikuti *ACI 437R – 03*. Monitoring pembebanannya diukur dengan alat pressure meter, defleksinya diukur dengan alat *Transducer* dan / *LVDT*, regangannya dimonitor dengan strain gauge. Pembacaan monitoringnya dibantu dengan data logger yang mencatat secara otomatis, baik lendutan maupun regangannya. Strain gauge akan dipasang di tempat yang tepat yaitu pada posisi lendutan maksimum. Adapun skema pengujiannya dapat dilihat pada Gambar 3.16.



Gambar 3.16 Skema Pengujian Tampak Depan

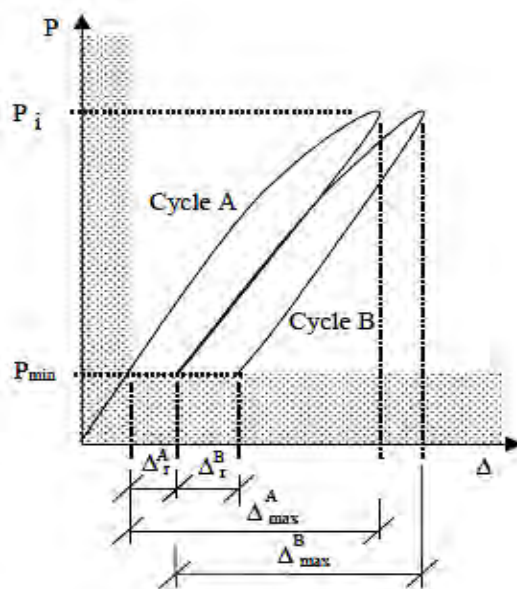
### 3.8. Evaluasi Hasil Pengujian

Hasil pengujian benda uji yang telah dilakukan akan dianalisis untuk mengetahui apakah model pengujian dan model benda uji dapat dikatakan berhasil sesuai ketentuan yang diatur dalam *ACI 437R - 03* dengan memperhatikan gambar hubungan antara Beban dan Lendutan dari hasil pengujian seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.17.

Hubungan antara lendutan dan beban seperti pada Gambar 2.17, bila diambil 2 pasang pembebanan siklik, maka dapat dilihat seperti pada Gambar 3.17, dimana persyaratan yang harus dipenuhi berdasarkan *ACI 437R - 03* adalah sebagai berikut :

1. *Repeatability*  $= (\Delta_{max}^B - \Delta_r^B) / (\Delta_{max}^A - \Delta_r^A) > 95\%$
2. *Deviation of Linearity*  $= 100\% - (100\% \times \text{tg } \alpha_i / \text{tg } \alpha_{ref}) < 25\%$   
 $(\alpha_i \text{ dan } \alpha_{ref} \text{ dapat dilihat pada Gambar 2.19})$
3. *Permanency*  $= (\Delta_r^B / \Delta_{max}^B) \times 100\% < 10\%$

Persyaratan tersebut juga diberlakukan untuk setiap pasangan pembebanan siklik seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.17.



Gambar 3.17 Hubungan lendutan – beban dari hasil pengujian dengan satu pasang beban siklik *loading – unloading*

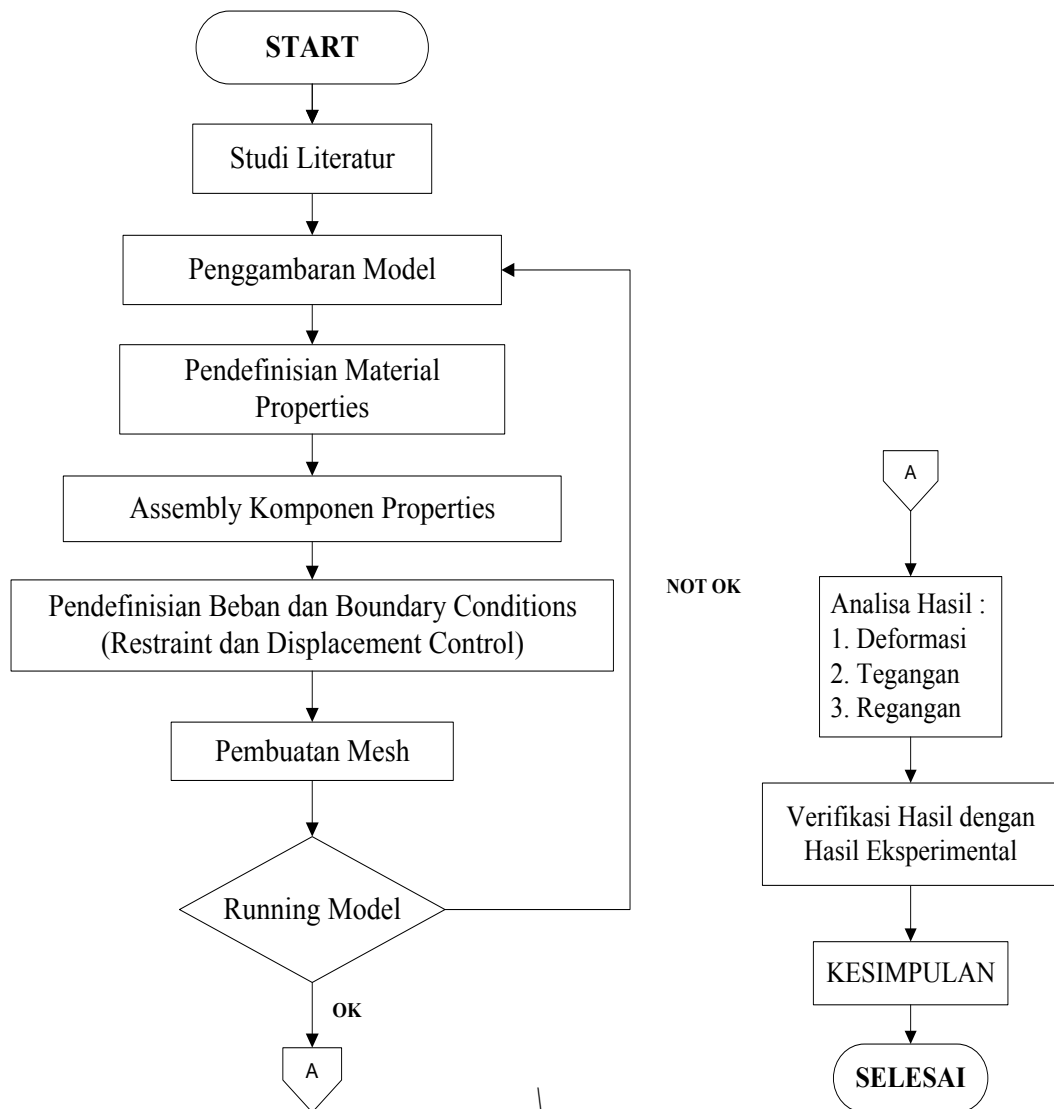
Dari hasil simulasi model awal seperti yang dijelaskan pada Bagian 3.4 dan percobaan di laboratorium, maka selanjutnya akan dilakukan analisis guna mengetahui pengaruh dari variabel – variabel yang ada, baik variabel dimensi maupun mutu material terhadap kekuatan sambungan antar komponen pelat pracetak. Hubungan antara beban lentur, regangan dan deformasi lendutan pada proses pengujian akan memberikan gambaran yang jelas terhadap kekuatan sambungan antar pelat pracetak yang dikaitkan dengan sistem sambungannya. Hasil dari pengujian benda uji ini selanjutnya divalidasi terhadap hasil dari analisis FEM seperti yang dijelaskan pada Bagian 3.9.

### 3.9. Analisis *FEM* Pelat dengan Model Sambungan

Analisis *FEM* akan dilakukan untuk berbagai macam sambungan yang direncanakan dengan mencoba beberapa variasi mutu material, dimensi dan rasio ketebalan dari komponen pracetak terhadap ketebalan secara keseluruhan. Dari analisis FEM ini diharapkan akan didapatkan suatu rekomendasi tentang solusi, bisa kemungkinan secara matematik maupun empirik yang menggambarkan bagaimana pengaruh sambungan terhadap kekuatan dari masing – masing model sambungan antar pelat pracetak yang masuk dalam lingkup penelitian ini.

Analisis FEM ini akan dilakukan dengan menggunakan Metode Elemen Hingga dengan bantuan komputer, sehingga akan dapat melakukan perhitungan dengan berbagai variasi. Dengan demikian gambaran dari trend perilaku half slab precast dengan sambungan antar komponen pracetak, baik tentang kemampuan menerima beban retak ataupun tentang besar lendutannya akan dapat diketahui.

Adapun tahapan yang harus dilakukan dalam menggunakan software Elemen Hingga dapat dilihat pada Gambar 3.18.



Gambar 3.18 Diagram alir kegiatan analisis *FEM*

Penjelasan dari tahapan kerja pada diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 3.18 dapat dijelaskan sebagai berikut :

### **1. Studi Literatur**

Studi literatur dilakukan untuk mengetahui lebih jauh tentang perilaku struktur *half slab precast*, seperti transfer gaya-gaya dalam yang bekerja pada hubungan komponen pracetak dan overtopping, model kegagalan struktur pelat akibat lentur dan penelitian - penelitian yang terkait dalam menunjang penyusunan disertasi ini.

Hasil dari studi literatur dapat dijadikan sebagai acuan terhadap permasalahan penelitian yang akan dibahas. Serta diharapkan dapat memecahkan permasalahan yang ada di lapangan dimana sering terjadi kerusakan seperti dijelaskan pada Bagian 1.1.

### **2. Penggambaran Model**

Penggambaran Model dilakukan sebelum memasukkan data material properties yang digunakan dengan menggunakan fasilitas *software* yang ada. Penggambaran dilakukan sesuai dengan model yang dikehendaki, baik untuk material beton maupun material baja tulangan.

### **3. Pendefinisian Material Properties.**

Material properties yang didefinisikan dalam analisis struktur adalah untuk material beton dan baja yang dapat dijelaskan sebagai berikut :

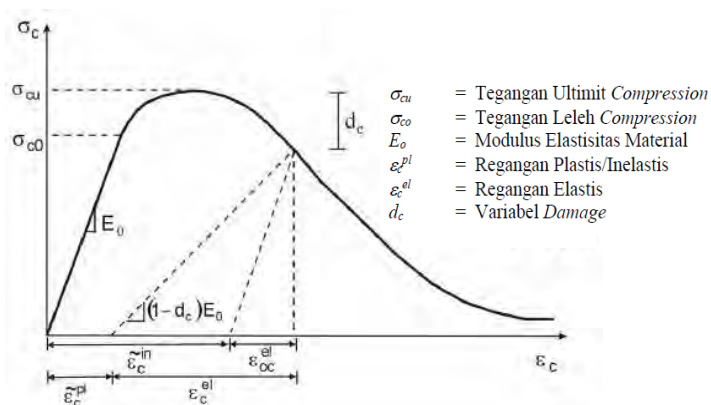
#### Material Beton.

Model *Concrete Damage Plasticity (CDP)* digunakan untuk menggambarkan perilaku beton pada program Elemen Hingga. Model *CDP* terdiri dari respon akibat beban *loading – unloading*. Dalam kondisi plastis, dimasukkan pula *damage parameter* untuk mengetahui tingkat kerusakan pada model benda uji.

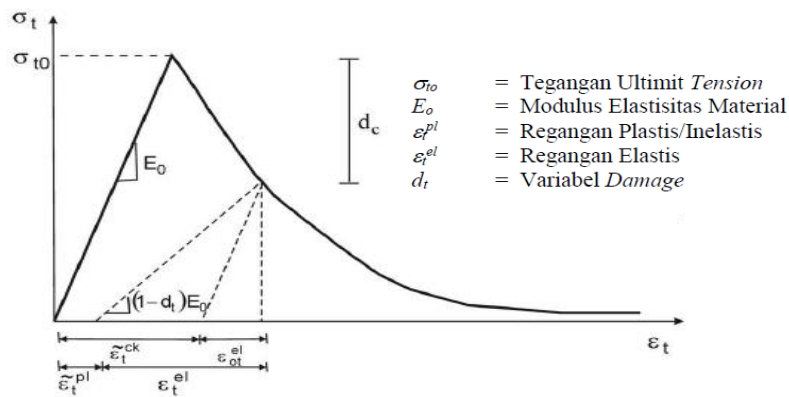
Model *CDP* digunakan dalam analisis *FEM* karena memiliki fungsi yang menunjang dalam proses simulasi, yaitu :



- Menyediakan kemampuan umum untuk memodelkan beton dan material *quasi-brittle* pada semua jenis struktur (*beam*, *truss*, *shell*, dan elemen *solid* lainnya).
- Menggunakan konsep *isotropic damaged elasticity* yang dikombinasikan dengan *isotropic tensile* dan *compressive plasticity* untuk mengetahui perilaku inelastis dari material beton.
- Dapat digunakan untuk beton bertulang.
- Didesain sebagai aplikasi pada beton akibat beban monotonik, siklis, maupun beban dinamis.
- Dapat mengontrol efek *stiffness recovery* selama pembebanan siklis yang mengindikasikan degradasi kekakuan dari suatu model.
- Dapat digunakan untuk mengontrol parameter *viscosity* untuk meningkatkan tingkat konvergensi dalam proses iterasi selama proses *running*.
- Model elemen/struktur dengan material beton sangat fleksibel dan mampu diprediksi perilaku strukturnya akibat pembebanan. Berdasarkan kondisi struktur yang menerima beban, maka dapat diasumsikan bahwa ada dua mekanisme kegagalan yang terjadi yaitu *tensile cracking* dan *compressive crushing* dari material betonnya. Model perilaku material dapat dilihat Gambar 3.19 dan Gambar 3.20.



Gambar 3.19 Tipikal kurva tegangan-regangan beton akibat beban tekan uniaksial (Kmieciak dan Kamiński, 2011)



Gambar 3.20 Tipikal kurva tegangan-regangan beton akibat beban tarik uniaksial (*Kmiecik dan Kamiński, 2011*)

Perilaku inelastis uniaksial tekan dan tarik pada beton diperoleh dari beberapa studi terkait dengan model sebagai analisis input model CDP pada program Elemen Hingga. Parameter respon tegangan – regangan pada beban uniaksial tekan dirumuskan pada persamaan 3.1 (*Kmiecik dan Kaminski, 2011*).

$$\varepsilon_{ct} = 0.0014[2 - \exp(-0.024f_{cm}) - \exp(-0.140f_{cm})] \quad \text{..... (pers 3.1)}$$

Adapun Parameter plasticity pada model CDP dapat dilihat di Tabel .1.

Tabel 3.1 Parameter *plasticity* beton

<i>Dilation Angle</i>	<i>Eccentricity</i>	$F_{b0}/f_{c0}$	$K$	<i>Viscosity Parameter</i>
36	0.1	1.16	0.67	0

*Eccentricity: Flow Potential Eccentricity*

$F_{b0}/f_{c0}$  : *Biaxial/uniaxial compression plastic strain ratio*

$K$  : *Deviatoric stress invariant ratio*

*Pavlovic dkk, 2013*, memberikan perumusan tentang regangan nominal ultimate, tegangan tekan pada titik leleh dan tegangan pada titik plastis pertama seperti ditunjukkan pada persamaan 3.2 sampai dengan 3.6

Regangan nominal ultimit (Pavlovic dkk., 2013)

$$\varepsilon_{cu1} = 0.0035 \quad \dots\dots\dots (\text{pers 3.2})$$

Tegangan pada titik leleh (Pavlovic dkk., 2013)

$$\sigma_c = 0.4f_{cm} \quad (\text{Point A – B}) \quad \dots\dots\dots (\text{pers 3.3})$$

Tegangan pada titik plastis pertama - ultimit (Pavlovic dkk., 2013)

$$\sigma_t = f_{cm} \frac{k\eta - \eta^2}{1 + (k-2)\mu}, \quad \eta \leq \frac{\varepsilon_{cu1}}{\varepsilon_c} \quad (\text{Point B – C - D})$$

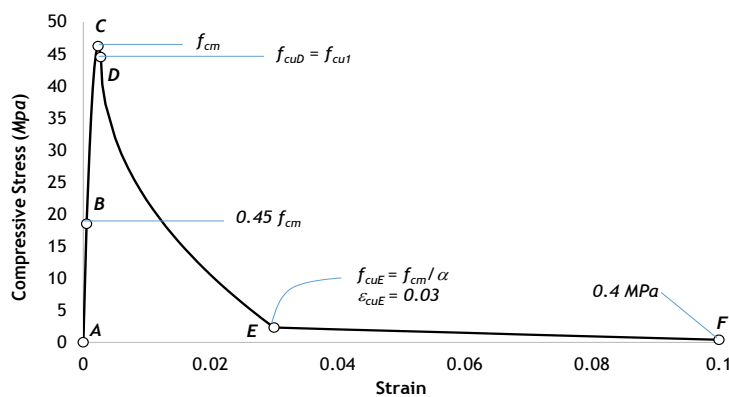
\dots\dots\dots (\text{pers 3.4})

Perilaku tekan pada beton diketahui hanya sebatas pada regangan nominal  $\varepsilon_{cu1}$  sehingga dapat menyebabkan overestimasi terhadap *crushing strength* dari beton. Oleh karena itu, kurva tegangan tekan/tarik pada EN1994-1-1: Eurocode 4 diperpanjang melebihi regangan nominal ultimit pada beton dengan persamaan:

$$\sigma_c \varepsilon_c = f_{cm} \left[ \frac{1}{\beta} - \frac{\sin\left(\mu \sigma_{td} \cdot \frac{\alpha_{tE} \pi}{2}\right)}{\beta \cdot \sin\left(\frac{\alpha_{tE} \pi}{2}\right)} + \frac{\mu}{\alpha} \right] \quad \varepsilon_{cuD} < \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cuE} \quad (\text{Point D – E}) \quad \dots\dots\dots (\text{pers 3.5})$$

$$\sigma_c \varepsilon_c = \frac{[f_{cuE}(\varepsilon_{cuF} - \varepsilon_c) + f_{cuF}(\varepsilon_c - \varepsilon_{cuE})]}{(\varepsilon_{cuF} - \varepsilon_{cuE})}, \quad \varepsilon_c > \varepsilon_{cuE} \quad (\text{Point E – F}) \quad \dots\dots\dots (\text{pers 3.6})$$

Gambar diagram Tegangan dan regangan berdasarkan perumusan perhitungan dari Pavlovic dkk., 2013, seperti pada Gambar 3.21.



Gambar 3.21 Tipikal kurva tegangan-regangan beton akibat beban tekan uniaksial (Pavlovic dkk., 2013)

Parameter respon tegangan-regangan pada beban uniaksial tarik dirumuskan oleh *Kmiecik dan Kaminski*, 2011, seperti ditunjukkan pada persamaan 3.7 sampai persamaan 3.9.

Tegangan nominal pada titik leleh (*Kmiecik dan Kaminski*, 2011)

$$f_{ct} = 0.62\sqrt{f_{cm}} \dots\dots\dots (\text{pers 3.7})$$

Used stress pada titik leleh (*EN1994-1-1: Eurocode 4*)

$$f_{cy} = 0.9f_{ct} \dots\dots\dots (\text{pers 3.8})$$

Relasi tegangan-regangan pada kondisi plastis (*Wang dan Hsu*, 2001)

$$\sigma_t = f_{ct} \left( \frac{\varepsilon_{cr}}{\varepsilon_t} \right)^{0.7}, \varepsilon_t > \varepsilon_{cr} \dots\dots\dots (\text{pers 3.9})$$

#### Material Baja.

Tulangan longitudinal dan transversal dari pelat didefinisikan sebagai material elasto-plastis berdasarkan hasil uji tarik tulangan secara eksperimental. Parameter *plasticity* tulangan yang diperoleh dari hasil uji laboratorium merupakan *nominal stress* dan *nominal strain*. Pada *numerical modeling*, nilai *plasticity* tulangan yang diperoleh dari hasil eksperimental dikonversi menggunakan persamaan 3.10 sampai persamaan 3.12.

$$\text{True stress,} \quad \sigma_{true} = \sigma_{nom}(1 + \varepsilon_{nom}) \dots\dots\dots (\text{pers 3.10})$$

$$\text{True strain,} \quad \varepsilon_{true} = \ln(1 + \varepsilon_{nom}) \dots\dots\dots (\text{pers 3.11})$$

$$\text{Plastic strain,} \quad \varepsilon_{pl} = \varepsilon_{true} - \left( \frac{\sigma_{true}}{E} \right) \dots\dots\dots (\text{pers 3.12})$$

#### **4. Assembly**

*Assembly*, adalah pengaturan posisi masing - masing elemen yang telah digambar melalui fasilitas *PART* dan untuk selanjutnya digabungkan dalam satu kesatuan melalui fasilitas *ASSEMBLY* sesuai model yang

akan dianalisis. Dalam melakukan penggabungan antara komponen pracetak dan komponen overtopping digabungkan dengan fasilitas TIE, artinya penggabungan diasumsikan sempurna, karena antara komponen pracetak dan overtopping terdapat shear connector yang cukup untuk menahan geseran.

Sedangkan penggabungan antara tulangan dengan beton dilakukan menggunakan fasilitas *EMBEDED*, dimana tulangan dan beton diasumsikan tidak terjadi slip. Berdasarkan teknik *constraint*, bahwa geometris nodal-nodal elemen akan ditempelkan pada elemen *host*-nya. Jika sebuah nodal dari *embedded element* terletak pada elemen *host*-nya, maka derajat kebebasan translasional di nodal dieliminasi dan nodal menjadi "*embedded node*". *Embedded element* diperbolehkan untuk memiliki derajat kebebasan rotasional, namun rotasi yang terjadi tidak *diconstraint* pada teknik *embedded element*.

## **5. Pendefinisian Beban dan Boundary Condition.**

Pendefinisian beban dilakukan dengan melakukan input data beban, baik posisi beban maupun besarnya beban yang akan dikerjakan pada model benda uji melalui fasilitas *LOAD* yang tersedia dalam Program Elemen Hingga. Setelah itu dilakukan pendefinisian boundary condition pada keempat sisi dari pelat benda uji, dimana pada arah – X didefinisikan sebagai sendi - rol. Demikian juga pada arah – Z juga didefinisikan sebagai sendi - rol.

Pengaturan prosedur analisis dan output yang diinginkan, adalah dengan melakukan pengaturan melalui fasilitas *STEP* yang tersedia dalam program Elemen Hingga. Adapun pada fasilitas *STEP* ini terdiri dari :

- a. *Initial Step*, yaitu pengaturan tumpuan yang digunakan.
- b. *General Step*, yaitu pengaturan model dan besaran beban – beban yang dikehendaki pada benda uji.

## **6. Meshing**

*Meshing*, adalah melakukan pendefinisian dari elemen – elemen yang akan dianalisis. Adapun hal - hal yang dilakukan pada meshing ini

adalah kontrol mesh, tipe dan ukuran elemen (seed), *mesh instance*. Fasilitas yang disediakan dalam program Elemen Hingga adalah fasilitas MESH. Adapun hal yang dilakukan dalam pekerjaan meshing adalah :

- a. Kontrol Mesh, untuk menentukan bentuk elemen yaitu
  - Hex
  - Hex-Dominated
  - Tet
  - Wedge
- b. Tipe Elemen yang dapat digunakan adalah standard, linear atau quadratic.
- c. Ukuran Elemen yang bisa ditentukan atau secara otomatis ditentukan oleh program. Ukuran meshing diatur berdasarkan asumsi dengan mempertimbangkan elemen struktur yang dianalisis, dalam hal ini bila elemen strukturnya berupa beton bertulang, maka perlu mempertimbangkan jarak tulangan yang terpasang.

### **3.10. Validasi Hasil Analitis dan *FEM* terhadap Hasil Percobaan**

Setelah dilakukan perhitungan analitis dan *FEM*, maka dilakukan validasi terhadap hasil eksperimental dan hasil analitis dan *FEM* untuk menguji validitas hasil eksperimen. Bila terjadi ketidaksesuaian, maka dilakukan pemeriksaan ulang terhadap hasil perhitungan analitis dan *FEM*. Karena kemungkinan masih ada kekurangan atau perbedaan input yang digunakan dalam analisis.

### **3.11. Analisis *FEM* terhadap Half Slab Precast 2 m x 2 m dan 10 m x 10 m akibat Beban Merata Monotonik**

Analisis *FEM* terhadap benda uji 2 m x 2 m (model A, B dan C) dan model pelat half slab 10 m x 10 m (model D, E dan F) akibat beban merata monotonik juga dilakukan untuk melihat konsistensi perilaku dari half slab precast dua arah dengan sambungan antar komponen pracetak yang diusulkan dibandingkan hasil percobaan dan analisis *FEM* akibat beban loading – unloading.

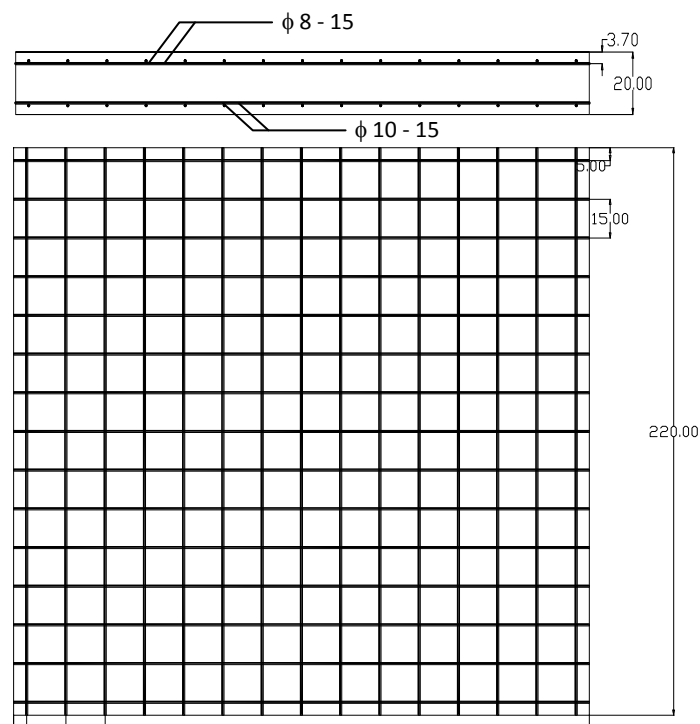
## BAB IV

### PELAKSANAAN DAN HASIL PENELITIAN

Pelaksanaan penelitian yang dilaksanakan di laboratorium dilakukan dengan rincian sebagai berikut :

#### 4.1. Persiapan Kegiatan Penelitian

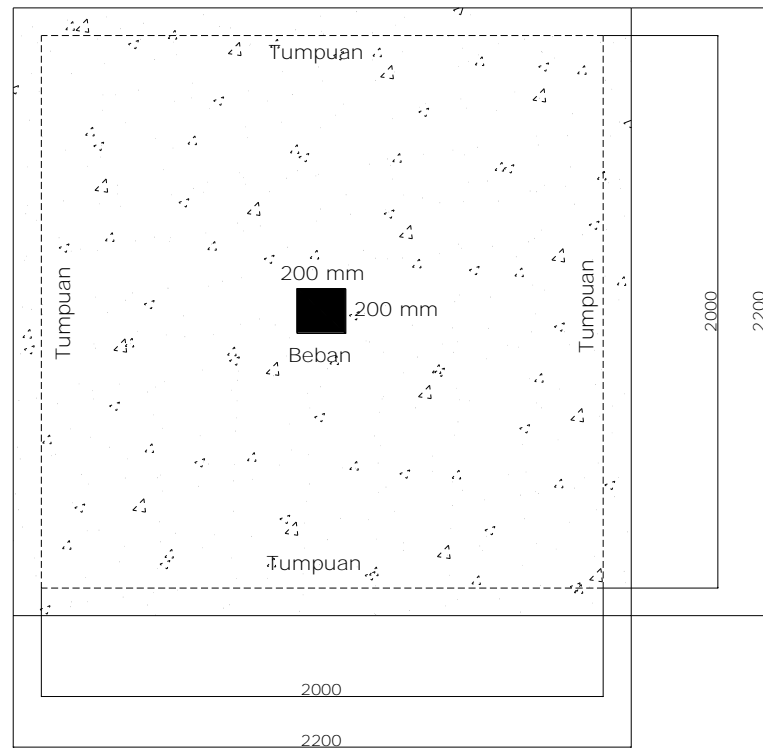
Sebelum melakukan penelitian, maka dibuat rancangan benda uji yang akan diteliti dengan melakukan perhitungan dan penggambaran. Perhitungan awal benda uji dilakukan untuk menentukan perkiraan beban maksimum yang akan diberikan pada saat pengujian terhadap pelat monolit dengan dimensi 2200 mm x 2200 mm dengan ketebalan 200 mm yang ditumpu di 4 sisinya dengan jarak masing - masing 100 mm dari tepi pelat. Ketebalan 200 mm diambil agar pelat berperilaku sebagai pelat lentur. Karena menurut teori *Kirchhoff* tebal pelat maksimum adalah  $1/10$  dari bentang pelat.



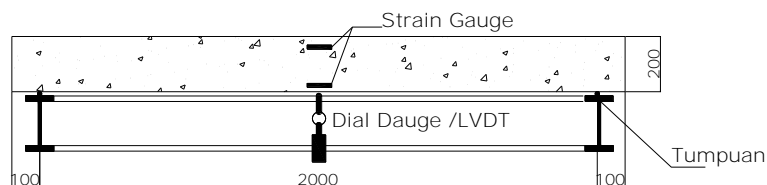
Gambar 4.1 Pelat model-A (monolit) dengan tulangan rangkap

Pada Gambar 4.1. menunjukkan rancangan model pelat monolit dengan penulangan rangkap sisi atas dan bawah, dimana terhadap pelat tersebut dilakukan perhitungan untuk menentukan perkiraan beban maksimum yang bisa diberikan pada saat pengujian.

Dimensi benda uji dan posisi tumpuan serta posisi beban uji seperti ditunjukkan pada Gambar 4.2 dan 4.3.



Gambar 4.2 Denah pelat dan posisi tumpuan



Gambar 4.3 Tampak samping pelat dan posisi tumpuan

Bila dihitung berdasarkan momen retak ( $M_{cr}$ ), maka beban luar yang dapat dikerjakan dihitung sebagai berikut :



$$\begin{aligned}
\text{Lebar (b)} &= 2 \text{ m} \\
\text{Tebal (h)} &= 0.2 \text{ m} \\
\text{Momen Inersia (I)} &= 0.0013333 \text{ m}^4 \\
f_c'' &= 30 \text{ N/mm}^2 \\
f_r = 0.62 \cdot f_c''^{(0.5)} &= 3.396 \text{ N/mm}^2 = 3396000 \text{ N/m}^2 \\
\text{Momen Retak (M}_{cr}\text{)} &= I f_r / (h/2) = 45278 \text{ N-m}
\end{aligned}$$

Besarnya momen retak tersebut bila disubstitusikan ke dalam persamaan 2.17 dan 2.18 dengan melihat Gambar 2.8 serta Tabel 2.5 serta mengambil nilai  $k$  sebesar 0.3, maka besarnya beban retak dapat dihitung sebagai berikut :

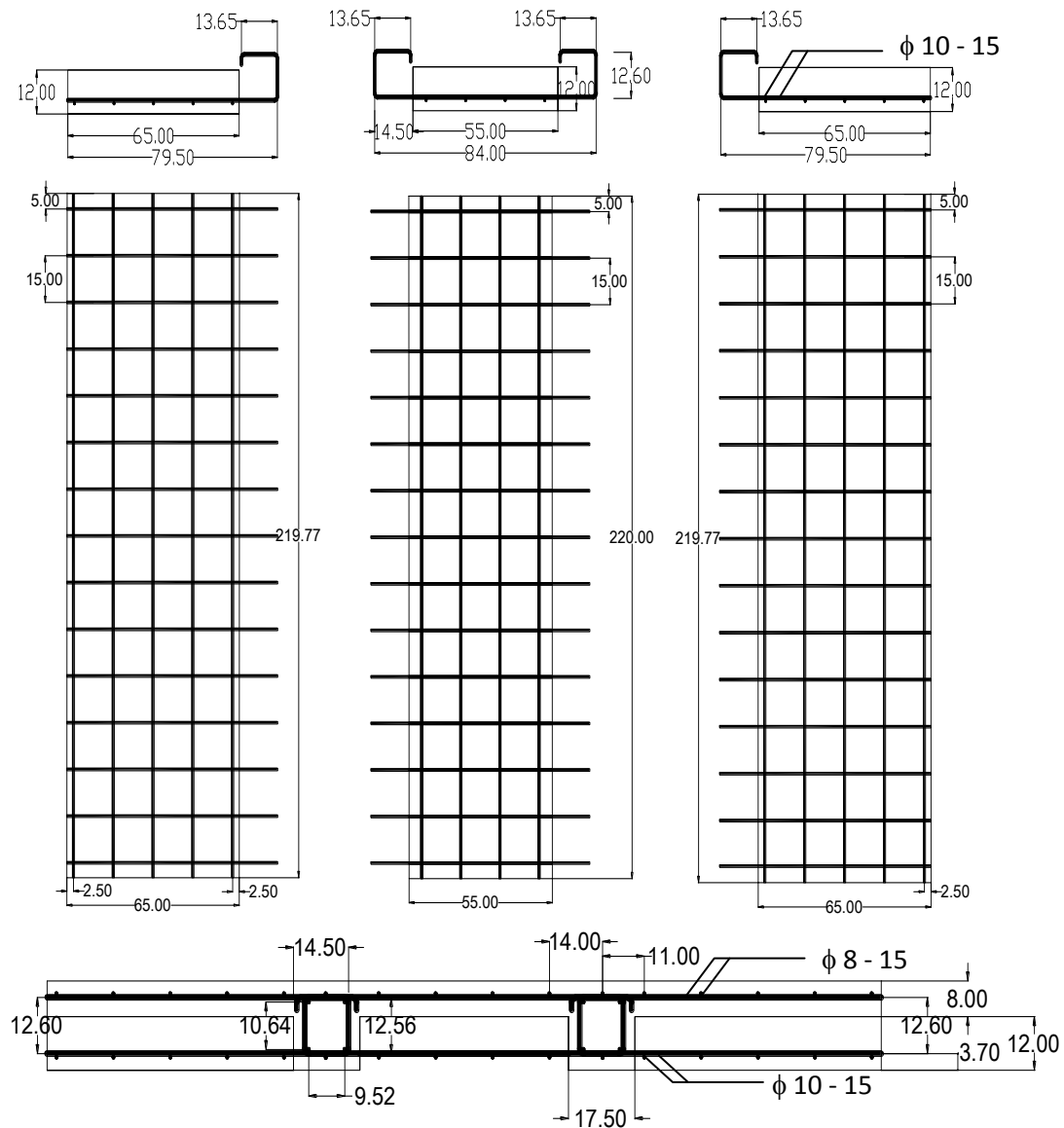
$$\begin{aligned}
M_{cr} &= k c d p_o \\
p_o &= M_{cr} / (k \times c \times d) \\
c &= 0.2 \text{ mm} \\
d &= 0.2 \text{ mm} \\
p_o &= 45278 / (0.3 \times 0.2 \times 0.2) \\
p_o &= 3773166.67 \text{ N/m}^2
\end{aligned}$$

Bila luas area beban adalah  $0.2 \times 0.2 \text{ m}^2$ , maka perkiraan beban yang bisa diberikan adalah sebesar :  $P_{cr} = 0.2 \times 0.2 \times 3773166.67 = 150926.67 \text{ N} = 15.38 \text{ Ton}$ .

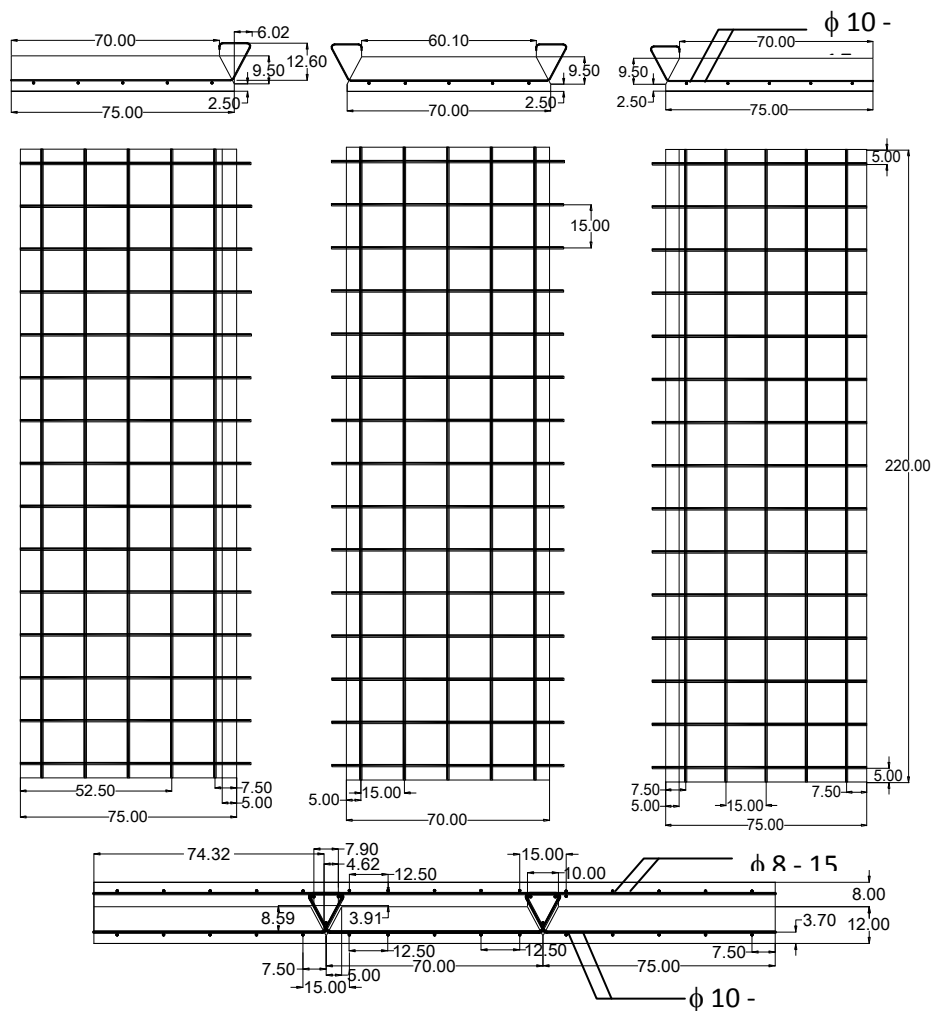
Berdasarkan perhitungan beban retak tersebut, maka beban uji yang disediakan harus lebih besar dari beban retak yaitu diambil sebesar 16 Ton. Sedangkan untuk beban ultimate diperkirakan sebesar 2 kali beban retak yaitu sebesar 32 Ton.

Peralatan yang tersedia di laboratorium adalah *hydraulic jack* kapasitas 50 Ton dan *hydraulic pump* kapasitas 50 Ton, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.15, sehingga mencukupi untuk digunakan.

Untuk model – model lain yang akan diuji adalah pelat – pelat dengan sistem *half slab precast*, dimana antara panel pracetaknya dilakukan penyambungan dengan model penyambungan tulangan melingkar yang berbentuk segi-4 (*rectangular connection*) yang disebut dengan model-B dan penyambungan tulangan melingkar berbentuk segi-3 (*triangular connection*) yang disebut dengan model-C, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.4. dan 4.5.



Gambar 4.4 Benda uji model-B



Gambar 4.5 Benda uji model-C

Setelah dilakukan perancangan, maka dilanjutkan dengan persiapan bahan yang terdiri dari :

1. Semen tipe-I produksi Semen Gresik
2. Pasir
3. Batu Pecah
4. Kayu dan Multiplex untuk bekisting
5. Besi beton polos diameter 8 mm dan 10 mm
6. Kawat Bindrad

## 4.2. Persiapan Alat Uji

Selain peralatan uji seperti yang dijelaskan pada BAB III, yaitu Gambar 3.10 sampai dengan Gambar 3.15, masih diperlukan lagi *Frame Uji* yang dibuat menyesuaikan dengan dimensi benda uji penelitian. *Frame uji* tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 *Frame uji dan portal crane*

Untuk alat angkut dan manouver benda uji dengan berat sekitar 2300 kg, akan digunakan hand pallet sebanyak 2 buah dengan kapasitas masing – masing 3000 kg dibantu kereta angkut berkapasitas 3000 kg. untuk alat angkat digunakan *chain block* sebanyak 2 buah yang masing – masing berkapasitas 5000 kg.

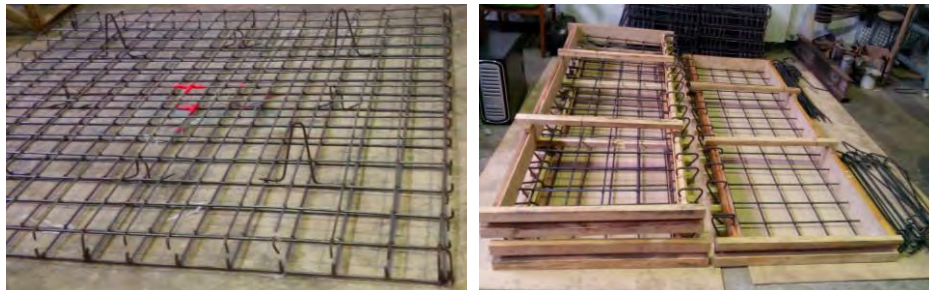
### 4.3. Pembuatan Benda Uji

#### 1. Perakitan Tulangan

Pembuatan benda uji dimulai dengan perakitan tulangan berdasarkan Gambar rencana seperti pada Gambar 4.7 dan 4.8.



Gambar 4.7 Proses pembengkokan tulangan.



Gambar 4.8 Perakitan tulangan pada pelat monolit dan *half slab*

Sehubungan dengan dimensi ketebalan pelat pracetak yang kecil dan juga kebutuhan diameter tulangannya yang kecil, sehingga untuk memudahkan pembentukan model sambungan tulangan, maka baja tulangan yang digunakan adalah batang polos.

#### 2. Pemasangan *Strain Gauge*

Sebelum dilakukan pengecoran, maka dilakukan pemasangan *strain gauge*, baik yang di baja tulangan maupun yang ditanam di dalam beton. *Strain gauge* yang digunakan adalah seperti ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data *strain gauge* yang digunakan

Jenis Strain Gauge	Posisi	Panjang (mm)	Lebar /	Resistensi
			Diameter (mm)	
FLA-5-11	Baja	10	3	120
PFML-50	Beton	50	4	120

*Strain gauge* yang akan dipasang, dilakukan pemeriksaan tahanan (resistensi) dengan ohm meter untuk mengetahui bahwa *strain gauge* masih bisa digunakan. Nilai tahanan yang harus dicapai adalah berkisar 120  $\Omega$ .

Posisi pemasangan *strain gauge* pada baja dan beton dapat dilihat pada Gambar 4.9 dan Gambar 4.10.



Gambar 4.9 Pengupasan permukaan tulangan



Gambar 4.10 Pemasangan *strain gauge* dan perlindungannya



Gambar 4.9, adalah proses pengupasan pada permukaan baja tulangan sehingga datar dengan lebar sama dengan lebar *half slab precast* yang akan dipasang.

Setelah *strain gauge* dipasang pada posisinya, maka selanjutnya dilakukadengan isolator agar kalau dilakukan pengecoran tidak mengalami kerusakan. Perlindungan pertama adalah menutup *strain gauge* dengan pasta karet seperti karet, setelah itu dilakukan penutupan dengan lapisan aspal dan ditutup lagi dengan lilitan isolator listrik untuk tegangan tinggi seperti ditunjukkan pada. Perlindungan terakhir adalah menutup dengan lilitan isolator listrik tegangan normal seperti ditunjukkan pada Gambar 4.10.

### 3. Pengecoran Benda Uji dan Pembuatan Silinder Beton Benda Uji

Setelah dilakukan perakitan dan pemasangan *strain gauge*, maka tulangan yang telah terakit, diatur dan ditata sedemikian rupa sehingga memudahkan dalam melakukan pengecoran. Peletakan posisi benda uji seperti diperlihatkan pada Gambar 4.11.

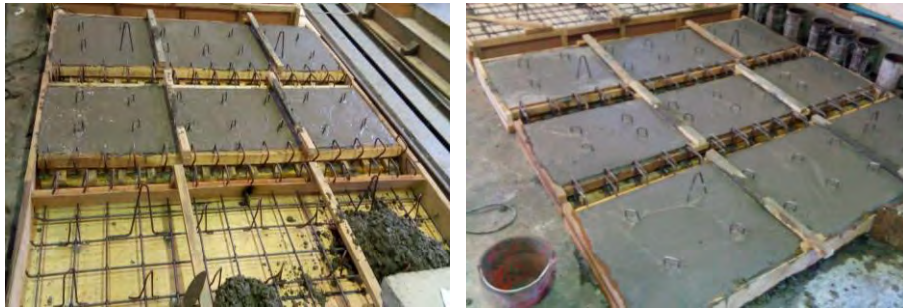


Gambar 4.11 Penataan benda uji sebelum dilakukan pengecoran

Sehubungan dengan keterbatasan ruang dan peralatan, maka pengecoran dilakukan secara bertahap. Alat pengaduk beton menggunakan

Concrete Mixer kapasitas 0.3 m<sup>3</sup>. Untuk pemadatan beton digunakan hand electric vibrator.

Untuk pelat yang monolit dilakukan secara langsung sampai selesai. Sedangkan pelat dengan sistem *half slab* dilakukan secara bertahap, dimana komponen pracetaknya dilakukan dahulu setelah itu pengecoran overtoppingnya. Proses pengecorannya dapat dilihat pada Gambar 4.12 sampai dengan Gambar 4.14.



Gambar 4.12 Pengecoran komponen pracetak



Gambar 4.13 Penataan komponen pracetak dan pemasangan tulangan *overtopping*



Gambar 4.14 *Half slab precast* setelah *overtopping*



Pada saat dilakukan pengecoran, dilakukan pengambilan sampel uji, silinder untuk setiap campuran dalam concrete mixer seperti ditunjukkan pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15 Silinder beton uji

#### 4. Pengujian Silinder Beton Benda Uji

Silinder uji dari setiap adukan selama proses pengecoran telah dibuat dan dilakukan pengujian pada umur di atas 28 hari untuk mutu komponen beton pracetak maupun komponen beton *overtopping* dengan jumlah sebanyak 34 specimen untuk beton pracetak dan 26 specimen untuk beton monolit dan *overtopping*-nya adalah sebagai berikut :

- Tegangan hancur rata – rata beton pracetak = 40.2 Mpa
- Tegangan hancur rata – rata beton *overtopping* = 37.3 Mpa

Hasil uji silinder secara rinci dapat dilihat pada Lampiran 1.

#### 4.4. Pengujian Material Baja Tulangan

Pengujiannya dilakukan secara perlahan dan dilakukan pencatatan beban yang bekerja. Alat uji akan merekam hubungan beban tarik dan deformasi benda uji. Alat uji tarik menggunakan *Universal Testing Machine* berkapasitas 5000 kg, seperti pada Gambar 4.16.

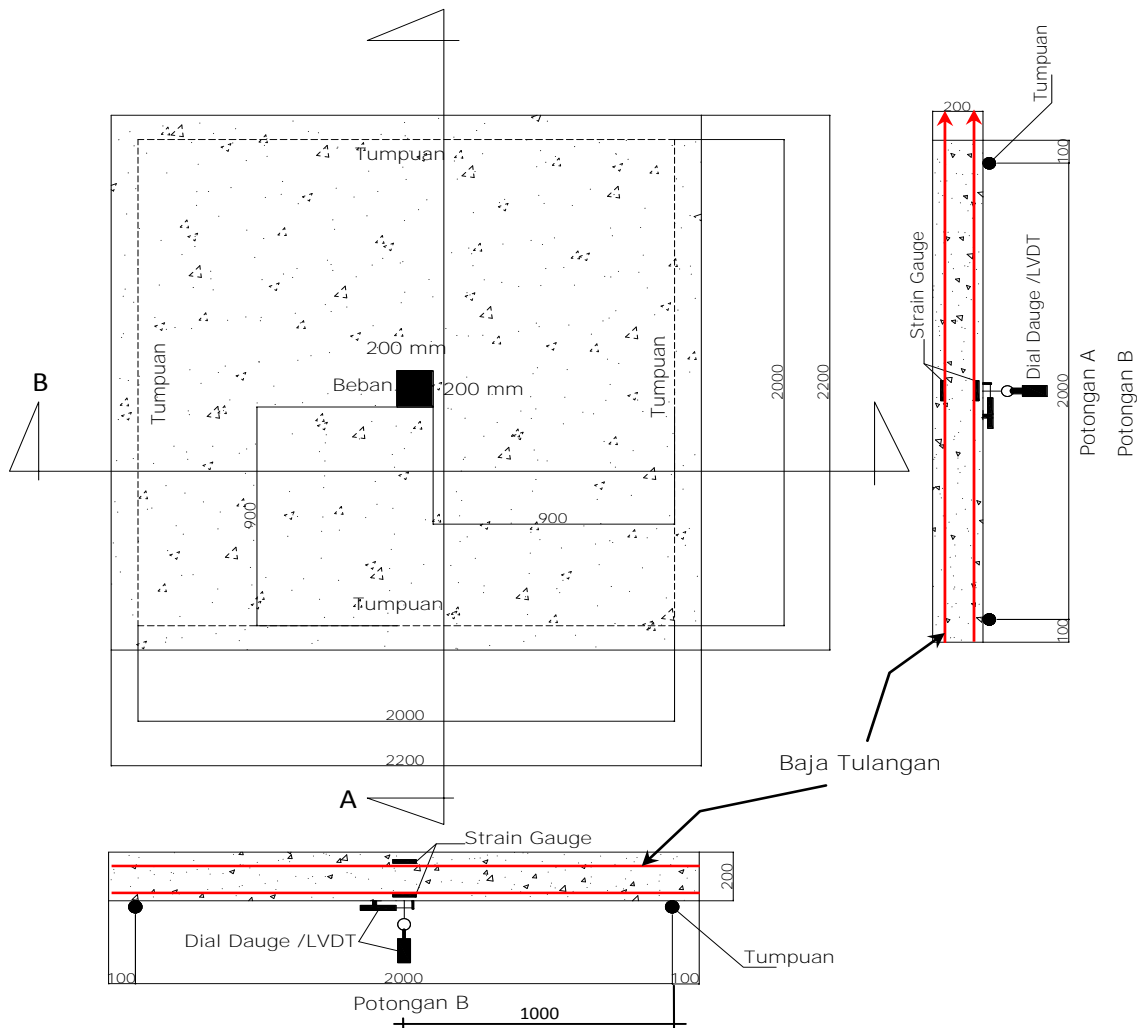


Gambar 4.16 Alat uji *universal testing machine* 5000 kg

Pengujian material baja tulangan dilakukan untuk tulangan berdiameter 8 mm dan 10 mm penampang polos. Jumlah benda uji yang diuji adalah 3 buah diameter 8 mm dan 3 buah diameter 10 mm. Hasil pengujian baja tulangan, baik yang berdiameter 8 mm maupun 10 mm tegangan lelehnya adalah sebesar 384 MPa yang dapat dilihat pada Lampiran 2.

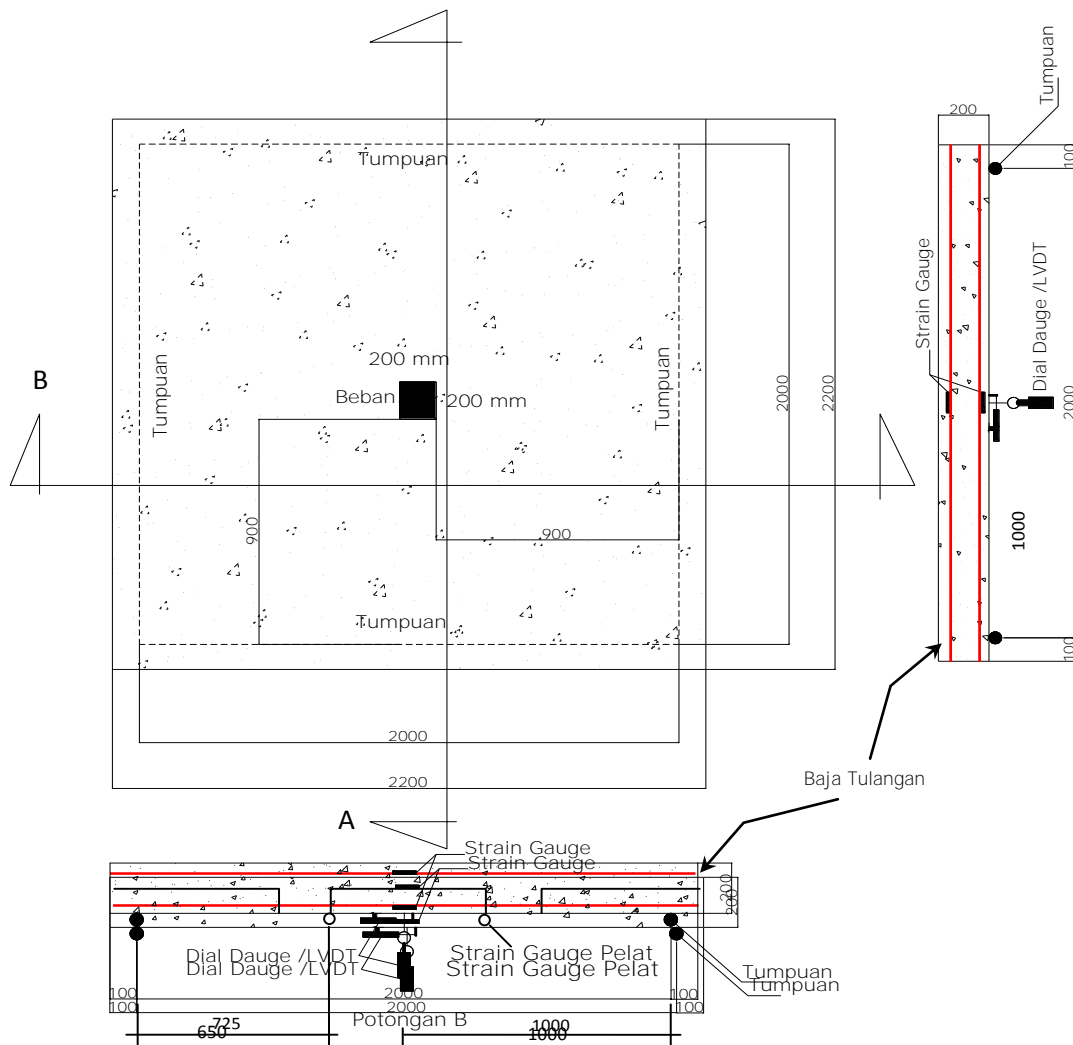
#### 4.5. Pengaturan Percobaan (*Experiment Setup*)

Sebelum melakukan percobaan di laboratorium, dilakukan pengaturan posisi benda uji, beban uji dan posisi Transducer baik yang vertikal maupun yang horizontal seperli diperlihatkan pada sketsa Gambar 4.17. Sedangkan untuk pengaturan *strain gauge* telah diatur pada saat selesai perakitan tulangan.



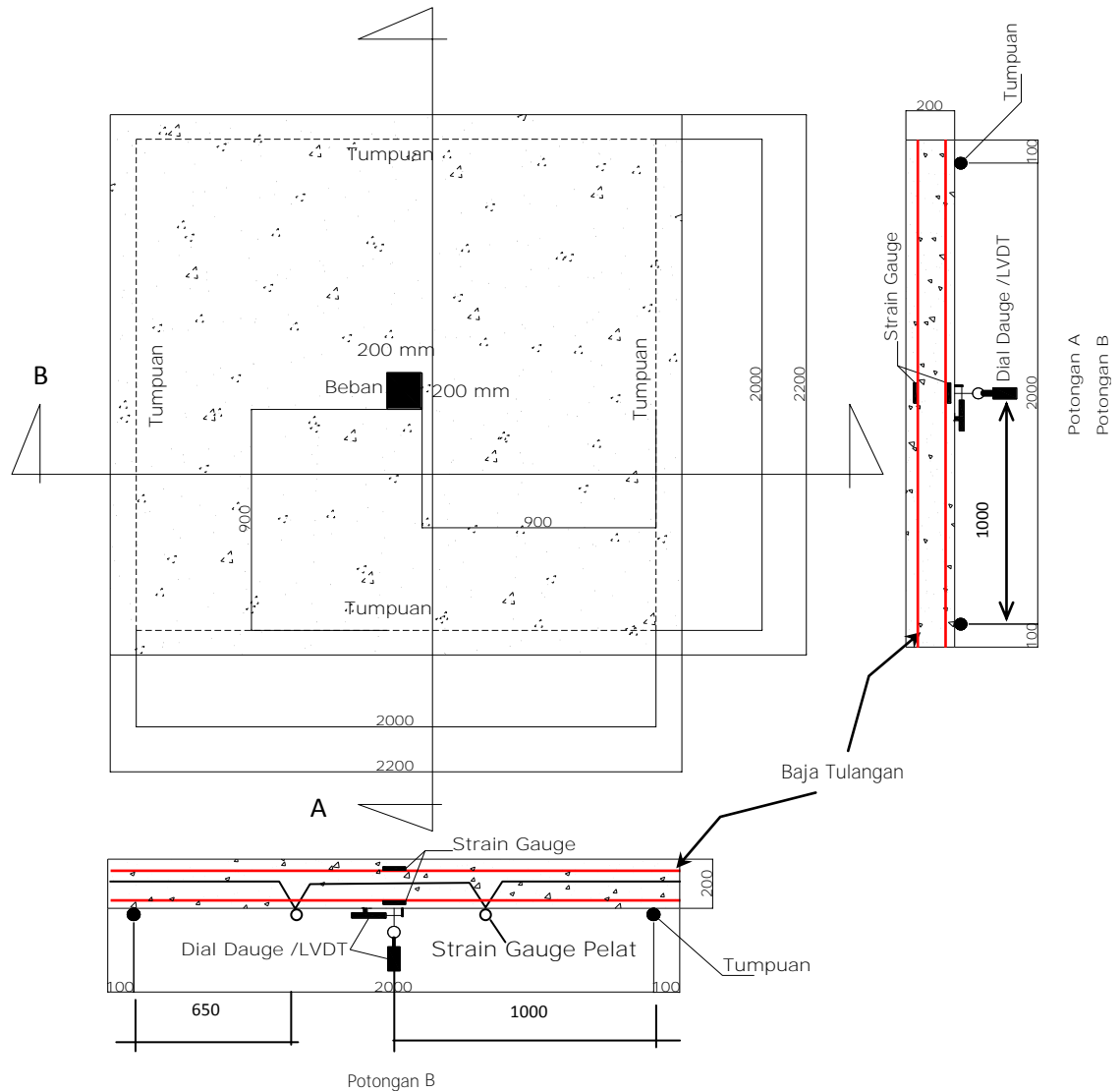
Gambar 4.17 Pengaturan Benda Uji Model-A (Monolit), Beban Uji dan *Transducer / LVDT*

Adapun benda uji model-B dapat dilihat pada Gambar 4.18 dengan tambahan pemasangan *strain gauge ring* yang dipasang pada garis batas sambungan antar komponen racetak.



Gambar 4.18 Pengaturan Pengujian Benda Uji Model-B, Beban Uji dan *Transducer / LVDT*

Sedangkan untuk benda uji model-C set up pengujiannya dapat dilihat pada Gambar 4.19.



Gambar 4.19 Pengaturan benda uji model-C, beban uji dan *transducer* / *LVDT*

Benda uji yang sudah diletakkan pada posisinya, dapat dilihat pada Gambar 4.20. Pengaturan posisi *Transducer*, baik yang vertikal maupun yang horizontal dapat dilihat pada Gambar 4.21. Sedangkan *Hydraulic Jack* sebagai beban uji secara detail dapat dilihat pada Gambar 4.22.





Gambar 4.20 Benda uji setelah diletakkan pada posisinya



Gambar 4.22 Detail penempatan  
LVDT



Gambar 4.21 Detail penempatan  
*hydraulic jack*

#### 4.6. Proses Pengujian di Laboratorium

Sesuai dengan metodologi yang telah dijelaskan pada Bagian 4.1, bahwa beban retak hasil perhitungan berkisar 15.38 ton, sehingga pembebanan diatur sedemikian rupa mengikuti *ACI-437R* seperti dilelaskan pada Bagian 2.1.8. pembebanan dilakukan berulang (*loading – unloading*) dengan menggunakan

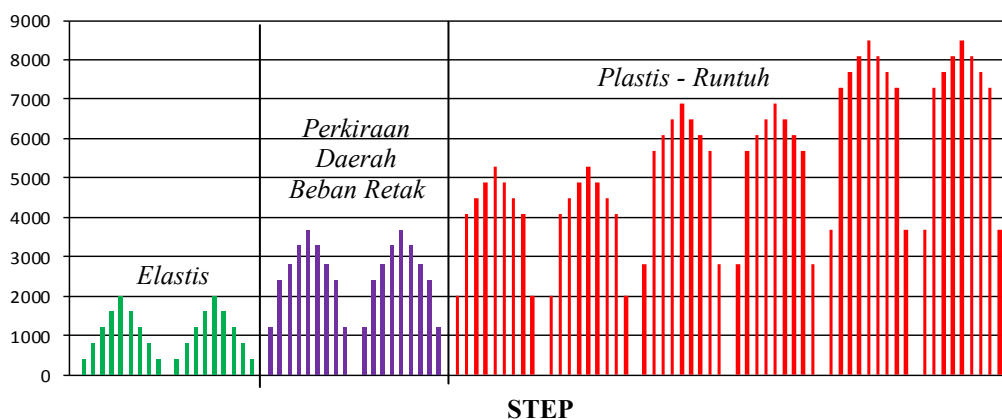
*Hydraulic Jack* yang digerakkan dengan *hydraulic pump*, dimana monitoringnya menggunakan manometer yang bersatuan Psi. Pembebanan *loading – percobaan* tersebut seperti ditunjukkan pada Tabel 4.2 dan Gambar 4.23. Sedangkan untuk mengubah menjadi satuan ton, maka diperlukan data luasan piston hydraulic jack yang digunakan. adalah merk *Enerpac type RC-506* dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Kapasitas : 50 ton
- Luas Silinder Efektif :  $71,2 \text{ cm}^2 = 11.04 \text{ in}^2$

Bila pembebanan dikehendaki dilakukan dengan satuan ton, maka harus diubah menjadi Nilai Beban (Psi) x 11.04 x 0.000454 = Nilai Beban (ton). Sehingga beban *loading – unloading*-nya dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan 4.3 serta Gambar 4.23 dan Gambar 4.24.

Tabel 4.2. Beban uji *loading – unloading* rencana dalam satuan (psi)

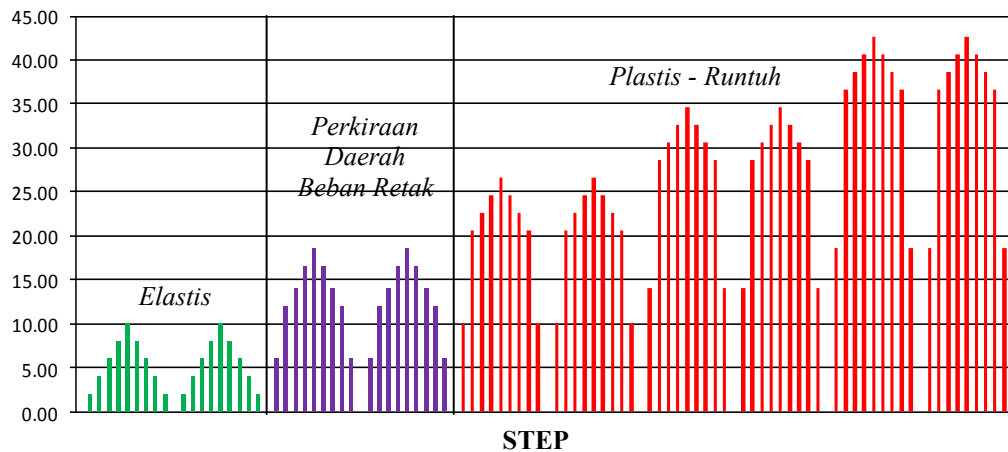
CYCLE-1		CYCLE-2		CYCLE-3		CYCLE-4		CYCLE-5		CYCLE-6	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
400	400	1200	1200	2000	2000	2800	2800	3700	3700	4500	4500
800	800	2400	2400	4100	4100	5700	5700	7300	7300	8500	8500
1200	1200	2800	2800	4500	4500	6100	6100	7700	7700	9000	9000
1600	1600	3300	3300	4900	4900	6500	6500	8100	8100	9500	9500
2000	2000	3700	3700	5300	5300	6900	6900	8500	8500	9800	9800
1600	1600	3300	3300	4900	4900	6500	6500	8100	8100	9500	9500
1200	1200	2800	2800	4500	4500	6100	6100	7700	7700	9000	9000
800	800	2400	2400	4100	4100	5700	5700	7300	7300	8500	8500
400	400	1200	1200	2000	2000	2800	2800	3700	3700	4500	4500
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Gambar 4.23 Grafik Beban uji *loading – unloading* rencana dalam satuan (psi)

Tabel 4.3. Beban uji *loading – unloading* rencana dalam satuan (ton)

CYCLE-1		CYCLE-2		CYCLE-3		CYCLE-4		CYCLE-5		CYCLE-6	
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.00	2.00	6.01	6.01	10.02	10.02	14.02	14.02	18.53	18.53	22.53	22.53
4.01	4.01	12.02	12.02	20.53	20.53	28.54	28.54	36.56	36.56	42.57	42.57
6.01	6.01	14.02	14.02	22.53	22.53	30.55	30.55	38.56	38.56	45.07	45.07
8.01	8.01	16.53	16.53	24.54	24.54	32.55	32.55	40.56	40.56	47.57	47.57
10.02	10.02	18.53	18.53	26.54	26.54	34.55	34.55	42.57	42.57	49.08	49.08
8.01	8.01	16.53	16.53	24.54	24.54	32.55	32.55	40.56	40.56	47.57	47.57
6.01	6.01	14.02	14.02	22.53	22.53	30.55	30.55	38.56	38.56	45.07	45.07
4.01	4.01	12.02	12.02	20.53	20.53	28.54	28.54	36.56	36.56	42.57	42.57
2.00	2.00	6.01	6.01	10.02	10.02	14.02	14.02	18.53	18.53	22.53	22.53
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



Gambar 4.24 Grafik Beban uji *loading – unloading* rencana dalam satuan (ton)

Pembebanan yang diberikan di Laboratorium untuk semua benda uji tidak sama besar. Adapun besarnya beban puncak terendah yang bisa dicapai dari seluruh percobaan adalah sebesar 26.54 ton. Agar dapat membandingkan perilaku dari semua benda uji, maka pengamatan dan evaluasi untuk semua benda uji diambil sama besar yaitu mengikuti beban puncak terendah atau sebesar 26.54 ton.

#### 4.7. Lokasi Kegiatan Penelitian

Lokasi kegiatan penelitian dilakukan di laboratorium Struktur dan Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan Jurusan Teknik Sipil FTSP – ITS.



#### 4.8. Hasil Percobaan di Laboratorium

Jumlah benda uji sebanyak 9 buah dimana terdiri dari 3 buah model-A, 3 buah model-B dan 3 buah model-C adalah bukan untuk keperluan analisa statistik, namun untuk keperluan cadangan bilamana terdapat kegagalan dalam pengujian atau akibat ketidak cermatan pemasangan strain gauge. Disamping itu dari 3 buah benda uji untuk masing – masing model dipilih salah satu yang dianggap paling valid atau yang aling mendekati trend dari analisis FEM atau analitis.

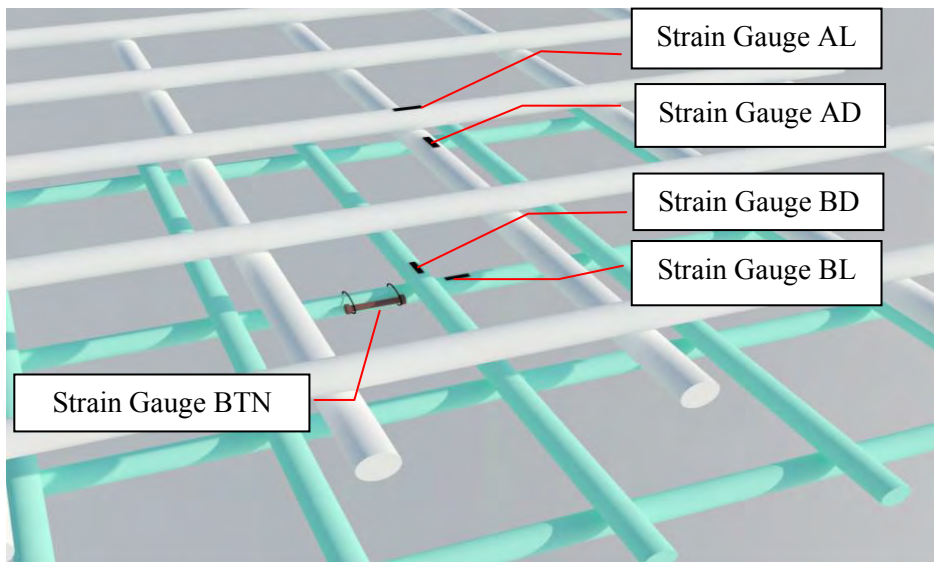
Pada saat pelaksanaan pembebanan di Laboratorium, dilakukan juga pencatatan terhadap hasil pengujian dilakukan pencatatan terhadap hasil pengujian yaitu :

1. Pengamatan deformasi / lendutan dan perkembangan retak dibagian bawah luar benda uji
  - a. Lendutan di tengah bentang dengan *Transducer V*
  - b. Perkembangan retak di tengah bentang arah X dengan *Transducer X*
  - c. Perkembangan retak di tengah bentang arah Z dengan *Transducer Z*
  - d. Perkembangan retak pada sambungan antar komponen pracetak sisi kanan dengan *Ring Plate Strain Gauge* yang diberi nama  $R_{kn}$ .
  - e. Perkembangan retak pada sambungan antar komponen pracetak sisi kiri dengan *Ring Plate Strain Gauge* yang diberi nama  $R_{kr}$ .
2. Pengamatan regangan di bagian dalam benda uji
  - a. *Strain gauge* pada baja tulangan sisi bawah lapis luar sisi bawah yang diberi nama BL
  - b. *Strain gauge* pada baja tulangan sisi bawah lapis dalam sisi bawah yang diberi nama BD
  - c. *Strain gauge* pada baja tulangan sisi atas lapis luar sisi atas yang diberi nama AL
  - d. *Strain gauge* pada baja tulangan sisi atas lapis dalam sisi atas yang diberi nama AD

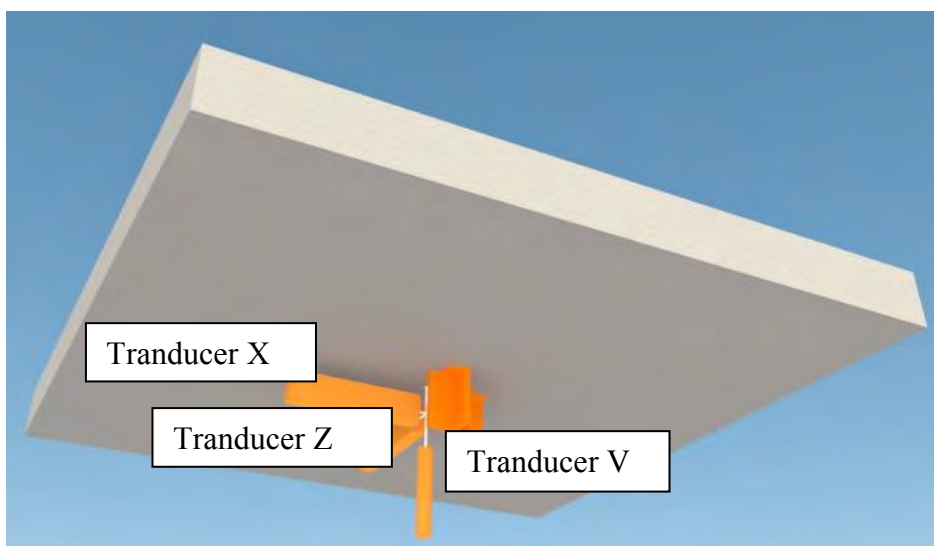
e. *Strain gauge* pada Beton yang diberi nama BTN.

Untuk pengamatan lebar retak pada *Strain gauge*  $R_{kn}$  dan  $R_{kr}$ , hanya dilakukan untuk benda uji pelat *half slab precast* saja.

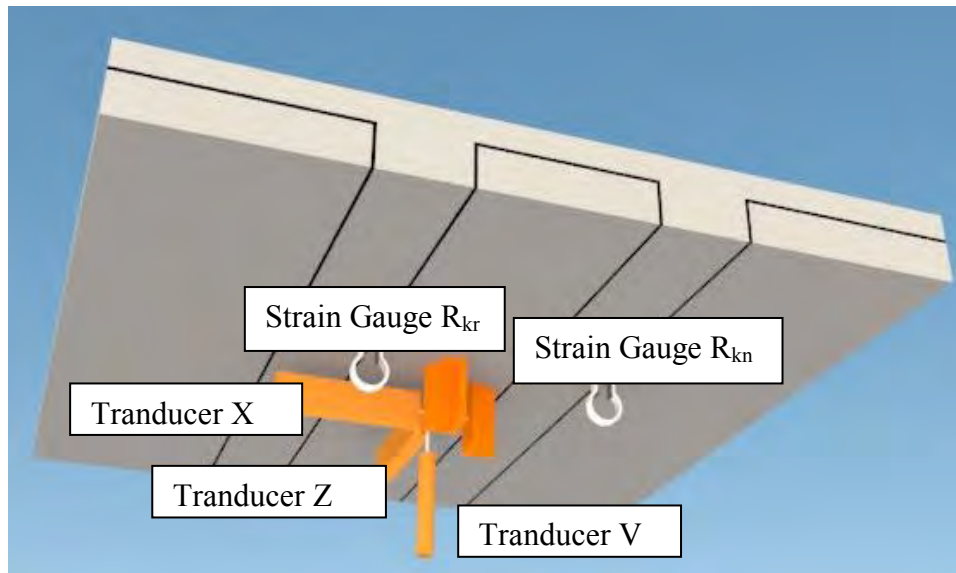
Posisi *Strain gauge* yang diletakkan di dalam beton (*Strain gauge* BD, BL, AD, AL dan BTN) dapat dilihat pada Gambar 4.25. Sedangkan posisi *Transducer* V, X dan Y serta *Strain Gauge*  $R_{kn}$  dan  $R_{kr}$  dapat dilihat pada Gambar 4.26. sampai dengan Gambar 4.28.



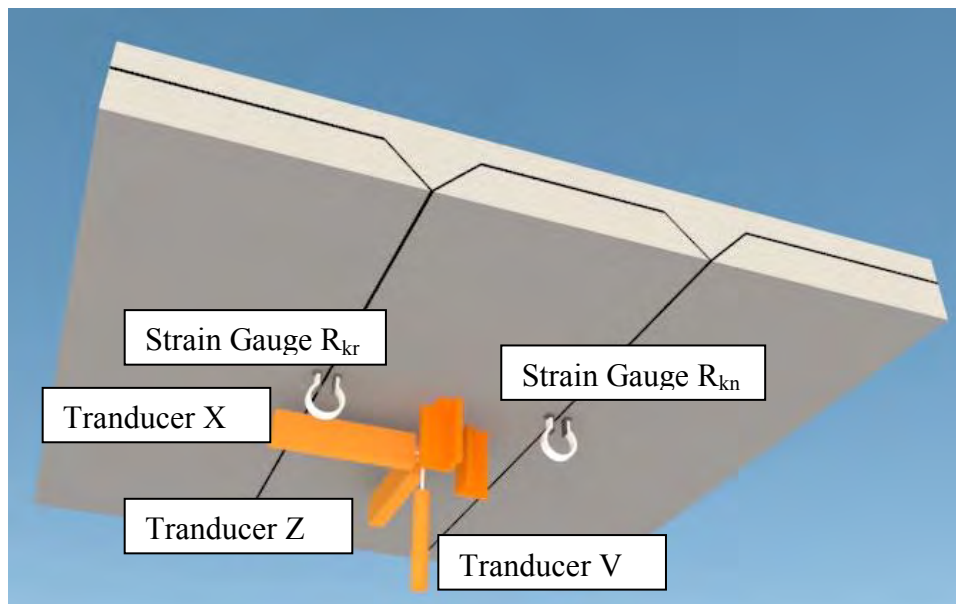
Gambar 4.25 Posisi *Strain gauge* yang dipasang



Gambar 4.26 Posisi *Tranducer* V, X dan Z pada benda uji model-A (Monolit)



Gambar 4.27 Posisi *tranducer* V, X, Z serta *strain gauge*  $R_{kn}$  dan  $R_{kr}$  pada benda uji half slab model-B



Gambar 4.28 Posisi *tranducer* V, X, Z serta *strain gauge*  $R_{kn}$  dan  $R_{kr}$  pada benda uji *half slab* model-C

#### 4.9.1. Pemilihan Benda Uji untuk Evaluasi

Benda uji sejumlah 3 buah untuk masing – masing model yang diuji pada awalnya diberi nama seperti pada Tabel 4.4

Tabel 4.4 Penamaan benda uji

<b>MODEL</b>	<b>NAMA BENDA UJI</b>		
<b>Model-A</b>	A1	A2	A3
<b>Model-B</b>	B1	B2	B3
<b>Model-C</b>	C1	C2	C3

Setelah pelaksanaan pengujian dilakukan pemilihan diambil salah satu yang hasilnya paling logis, wajar dan paling mendekati trend dari hasil analisis analitis maupun FEM. Adapun benda uji yang dipilih adalah seperti ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Pemilihan benda uji untuk evaluasi dan analisis untuk pengamatan lendutan, regangan BL, BD, AL, AD dan BTN

<b>MODEL BENDA UJI</b>	<b>PENGAMATAN</b>					
	<b>Deflection</b>	<b>Strain BL</b>	<b>Strain BD</b>	<b>Strain AL</b>	<b>Strain AD</b>	<b>Strain BTN</b>
Model-A	A2	A3	A2	A2	A2	A2
Model-B	B2	B2	B3	B2	B2	B2
Model-C	C3	C3	C2	C3	C3	C2

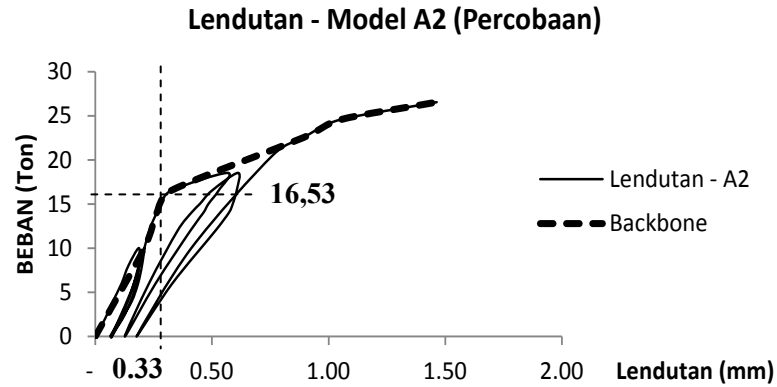
Tabel 4.6 Pemilihan benda uji untuk evaluasi dan analisis untuk Pengamatan LVDT-X, LVDT-Z, regangan R<sub>kn</sub> dan R<sub>kr</sub>

<b>MODEL BENDA UJI</b>	<b>PENGAMATAN</b>			
	<b>LVDT-X</b>	<b>LVDT-Z</b>	<b>Strain R<sub>kn</sub></b>	<b>Strain R<sub>kr</sub></b>
Model-A	A3	A3		
Model-B	B3	B3	B3	B2
Model-C	C3	C2		C3

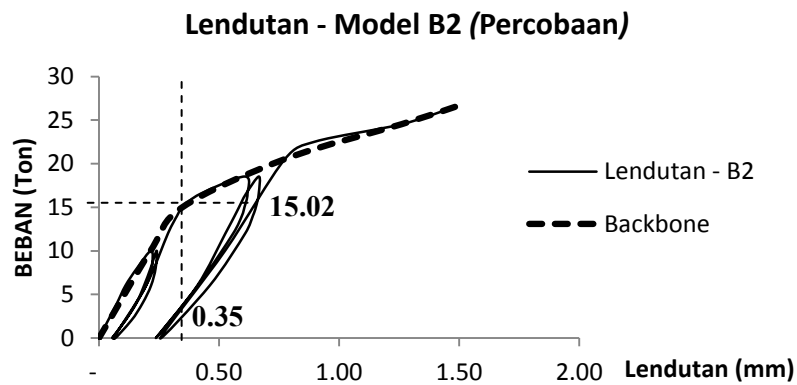
Hasil pengujian di laboratorium secara keseluruhan dilaporkan semuanya baik yang gagal maupun yang terpilih dan dapat dilihat pada Lampiran 5

#### 4.9.2. Pengamatan Beban Retak dan Lendutan Hasil Pngujian Laboratorium (Percobaan)

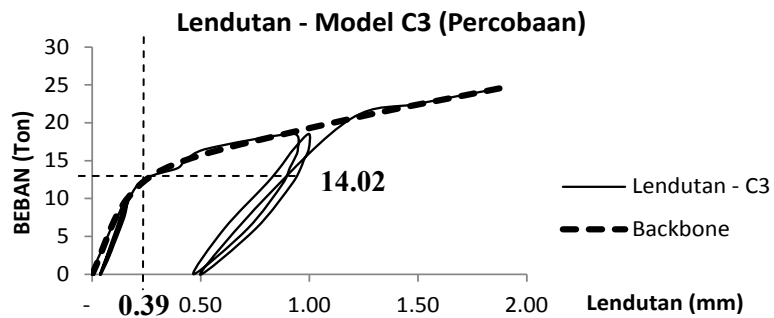
Hasil pengamatan pengujian, lendutan yang terjadi dicatat oleh data logger. Setelah dilakukan penggambaran grafik hubungan antara defleksi dan besarnya beban dapat dilihat pada Gambar 4.29 sampai dengan Gambar 4.31.



Gambar 4.29 Grafik beban vs lendutan model-A2 hasil percobaan



Gambar 4.30 Grafik beban vs lendutan model-B2 hasil percobaan



Gambar 4.31 Grafik beban vs lendutan model-C3 hasil percobaan

Gambar 4.29 sampai dengan Gambar 4.31 adalah grafik hubungan antara lendutan (*deflection*) dan besarnya beban (*beban*) untuk benda uji yang dipilih mewakili masing – masing model seperti ditunjukkan pada Tabel 4.5 dan 4.6.

Dari pengamatan visual terlihat bahwa retak awal pada batas akhir kondisi elastis menunjukkan nilai beban yang berbeda, dimana untuk model A yang diwakili A2 dapat menerima beban batas elastis sebesar **16.53** ton, untuk model B yang diwakili B2 sebesar **15.02** ton dan model C yang diwakili C3 sebesar **14.02** ton. Bila hasil monitoring lendutan dari data logger digambarkan dalam bentuk grafik seperti Gambar 4.29 sampai dengan 4.31, maka *backbone*-nya juga menunjukkan bahwa pada nilai beban – beban tersebut grafik *backbone*-nya mulai berubah arah. Hal ini menunjukkan bahwa hasil pengamatan visual sudah sesuai atau dapat dikatakan valid. Lendutan di tengah bentang yang terjadi pada saat mulai terjadi retak menunjukkan bahwa model-A mempunyai *lendutan* sebesar 0.33,mm, model-B sebesar 0.35 mm dan model-C sebesar 0.39 mm.

Beban runtuh yang bisa dicapai untuk ketiga benda uji adalah sebesar 34.55 ton untuk model-A dan 30.55 ton untuk model B dan C.

Untuk mengetahui bahwa grafik hubungan beban vs lendutan dapat dikatakan baik, maka perlu dilakukan perhitungan kontrol *Repeatability*, *Deviation of Linearity* dan *Permanency* yang hasilnya seperti ditunjukkan pada Tabel 4.7 sampai 4.9

Tabel 4.7 Kontrol *Repeatability*, *Deviation of Linearity* dan *Permanency* untuk

Pelat Model-A

BEBAN	$\Delta_1$	$\Delta_{\max 1}$	$\Delta_2$	$\Delta_{\max 2}$	<i>Repeatability</i>	<i>Dev.Linearity</i>	<i>Permanency</i>
					> 95%	<25%	<10%
P1=10.03	0.06	0.19	0.07	0.21	95.59	7.77	6.85
P1=18.53	0.13	0.57	0.17	0.62	99.68	7.47	9.18

Tabel 4.8 Kontrol *Repeatability*, *Deviation of Linearity* dan *Permanency* untuk

Pelat Model-B

BEBAN	$\Delta_1$	$\Delta_{\max 1}$	$\Delta_2$	$\Delta_{\max 2}$	<i>Repeatability</i>	<i>Dev.Linearity</i>	<i>Permanency</i>
					> 95%	<25%	<10%
P1=10.03	0.06	0.22	0.07	0.24	95.81	8.33	7.22
P1=18.53	0.24	0.63	0.26	0.67	95.12	5.97	4.65

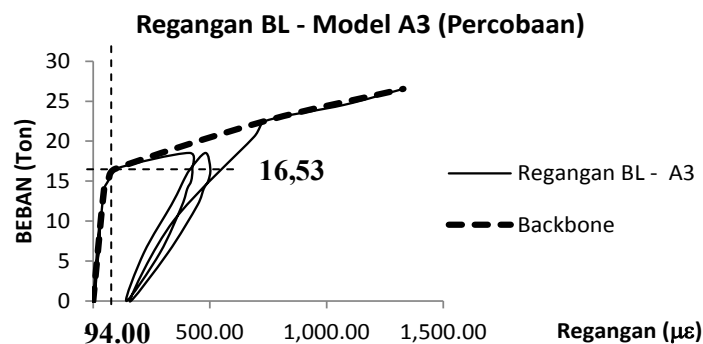
Tabel 4.9 Kontrol *Repeatability*, *Deviation of Linearity* dan *Permanency* untuk Pelat Model-C

BEBAN	$\Delta_1$	$\Delta_{\max 1}$	$\Delta_2$	$\Delta_{\max 2}$	<i>Repeatability</i>	<i>Dev.Linearity</i>	<i>Permanency</i>
					> 95%	<25%	<10%
P1=10.03	0.04	0.15	0.04	0.16	95.65	3.23	0.00
P1=18.53	0.47	0.93	0.50	0.98	95.83	5.10	5.88

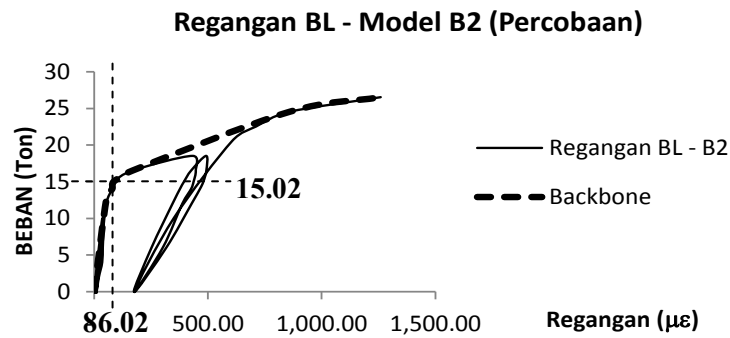
#### 4.9.3. Pengamatan Regangan Tulangan Bawah Lapis Luar (Regangan BL)

*Strain gauge* BL adalah alat monitor regangan yang dipasang pada tulangan bawah lapis pertama atau lapis paling luar. Dari hasil pengamatan terlihat bahwa *regangan* yang terjadi pada baja untuk model-A, model-B maupun model-C, bila dilihat dari *backbone* kurva *regangan* vs beban (*beban*), menunjukkan pergerakan yang berubah pada saat beton mengalami keretakan. Sebelum beton retak, pergerakan back bone dari kurva regangan pada baja yang termonitor lewat *Strain gauge* (BL) berupa kurva linear. Sedangkan setelah beton mengalami keretakan, pergerakan besaran nilai *backbone* dari kurva *regangannya* juga tetap linear walaupun arahnya berubah. Bila dilihat dari nilai regangannya, baja belum mengalami leleh atau masih elastis.

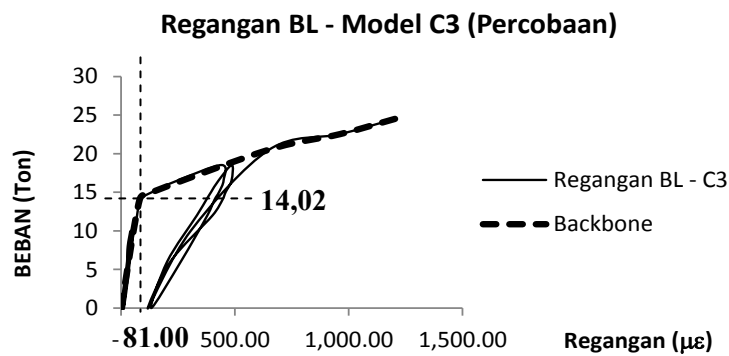
Nilai regangan BL pada saat awal retak untuk benda uji model A diwakili oleh A3, model B diwakili B2 dan model C diwakili C2 nilai regangannya dapat dilihat pada Gambar 4-32 sampai dengan 4.34.



Gambar 4.32 Grafik beban vs regangan BL model-A3 hasil percobaan



Gambar 4.33 Grafik regangan BL vs beban untuk model-B2 hasil percobaan



Gambar 4.34 Grafik beban vs regangan BL model-C3 hasil percobaan

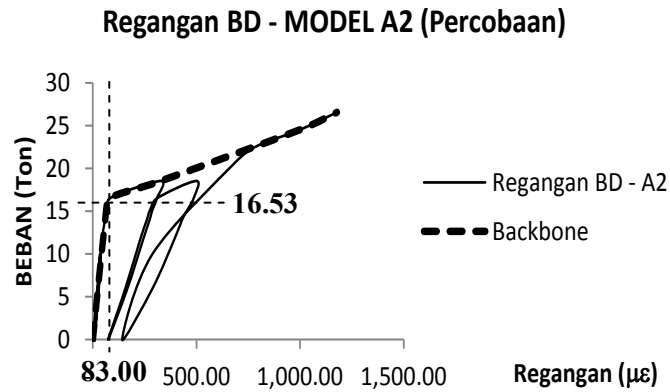
Dilihat dari nilai regangan BL untuk model A adalah sebesar 94.00  $\mu\epsilon$ , untuk model B adalah sebesar 86.02  $\mu\epsilon$  dan untuk model C sebesar 81.00  $\mu\epsilon$ . Model B dan C mempunyai nilai regangan BL yang perbedaannya tidak terlalu signifikan.

#### 4.9.4. Pengamatan Regangan Tulangan Bawah Lapis Dalam (Regangan BD)

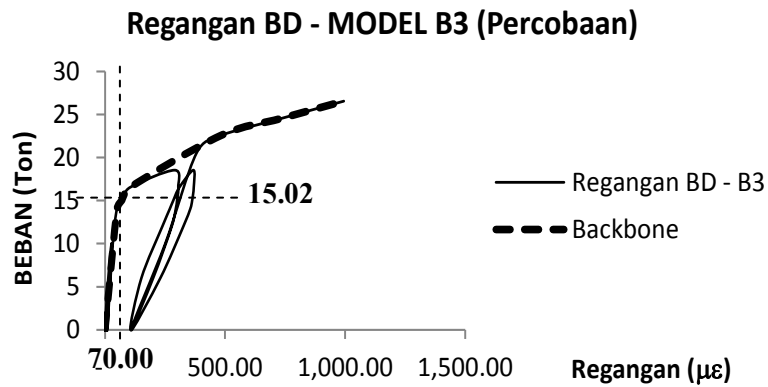
*Strain gauge* BD mempunyai trend yang hampir sama dengan *strain gauge* BL, hanya saja nilai regangannya sedikit lebih kecil. Nilai regangan BD pada saat awal retak untuk benda uji model-A yang diwakili A2 adalah sebesar 83  $\mu\epsilon$  pada beban 16.53 ton, model-B yang diwakili B2 adalah sebesar 70.00  $\mu\epsilon$  pada beban 15.02 ton dan untuk benda uji model-C yang diwakili C2 dan sebesar 59.34



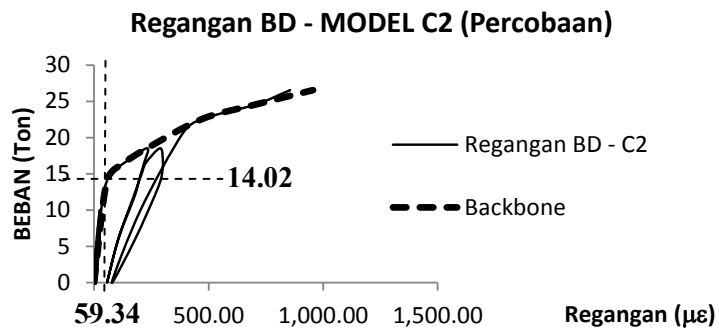
$\mu\epsilon$ . Bila digambarkan Grafik regangan BD vs beban dapat dilihat pada Gambar 4.35 sampai dengan 4.37.



Gambar 4.35 Grafik beban vs regangan BD model-A2 hasil percobaan



Gambar 4.36 Grafik beban vs regangan BD model-B3 hasil percobaan



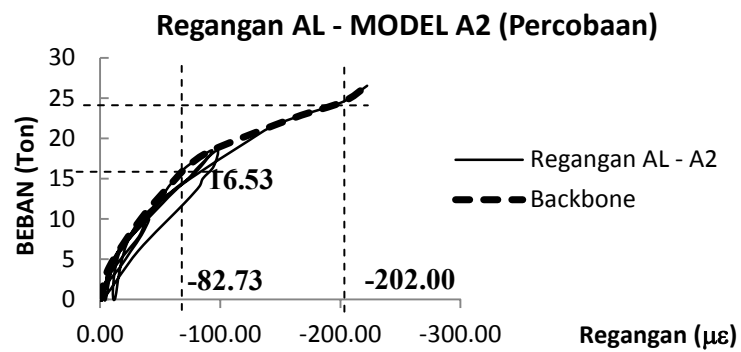
Gambar 4.37 Grafik beban vs regangan BD model-C2 hasil percobaan

Dilihat dari *backbone* kurva regangan BD menunjukkan adanya pergerakan yang berubah pada saat beton mengalami keretakan. Sebelum beton retak, pergerakan besaran *backbone* kurva regangan pada baja baik yang termonitor lewat *Strain gauge* (BD) berupa kurva linear. Sedangkan setelah beton mengalami keretakan, pergerakan besaran nilai *backbone* kurva regangannya juga tetap linear walaupun arahnya berubah atau berbentuk bilinier.

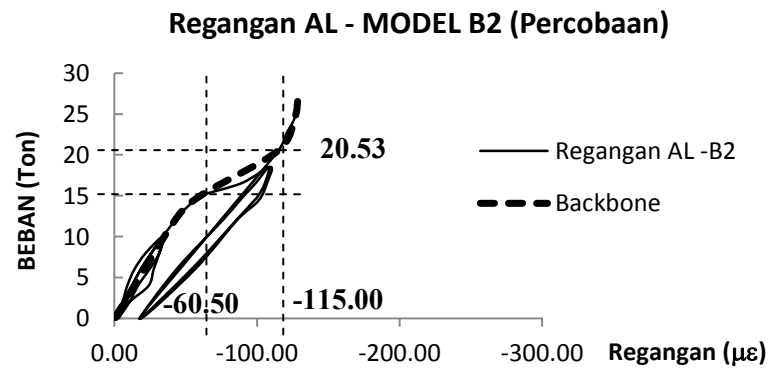
Regangan BD untuk model-A nilainya mendekati sama dengan regangan BL. Namun regangan BD untuk model-B dan model-C nilainya lebih rendah dari regangan BL hal ini karena *strain gauge* BD diletakkan tegak lurus dari garis sambungan antar komponen pracetak, sehingga akibat membukanya sambungan tersebut menyebabkan regangan BD di tengah bentang untuk model B dan C menjadi berkurang. Bila dilihat dari nilai regangannya, baja belum mengalami leleh atau masih elastis.

#### **4.9.5. Pengamatan Regangan Tulangan Atas Lapis Luar (Regangan AL)**

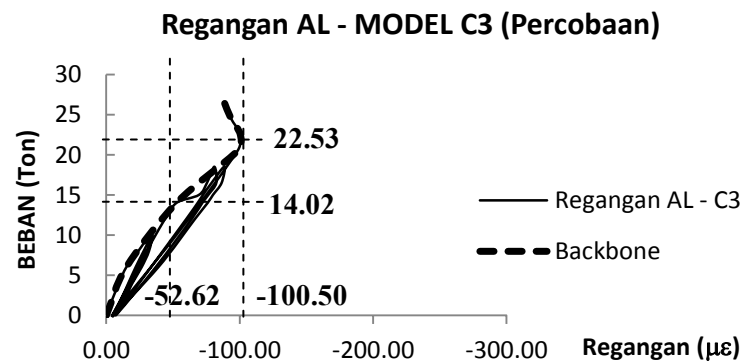
*Strain gauge* (AL) adalah *strain gauge* yang dipasang pada tulangan atas lapis terluar. Dari pantauan regangan yang terjadi adalah merupakan regangan tekan, dimana pada saat awal retak regangannya sebesar  $-72.73 \mu\epsilon$  untuk model-A yang diwakili A2, untuk model-B yang diwakili B2 adalah sebesar  $-60.50 \mu\epsilon$  dan untuk benda uji model-C yang diwakili C2 sebesar  $-52.62 \mu\epsilon$ . nilai - nilai regangan tersebut dimonitor pada saat awal retak. Namun setelah beban dinaikkan terus, maka nilai regangan tekan AL untuk semua jenis model, percepatan kenaikannya menjadi berkurang. Hal ini diindikasikan bahwa setelah retak, posisi garis netral akan bergeser naik sedikit demi sedikit ke atas. Hasil monitoring *strain gauge* AL bila digambarkan dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 4.38 sampai dengan 4.40.



Gambar 4.38 Grafik beban vs regangan BD model-A2 hasil percobaan



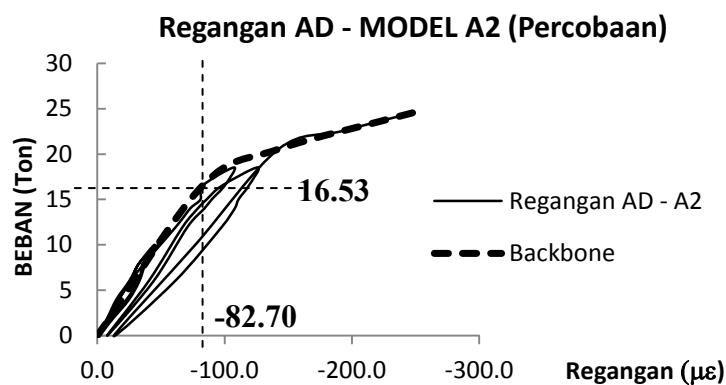
Gambar 4.39 Grafik beban vs regangan AL model-B2 hasil percobaan



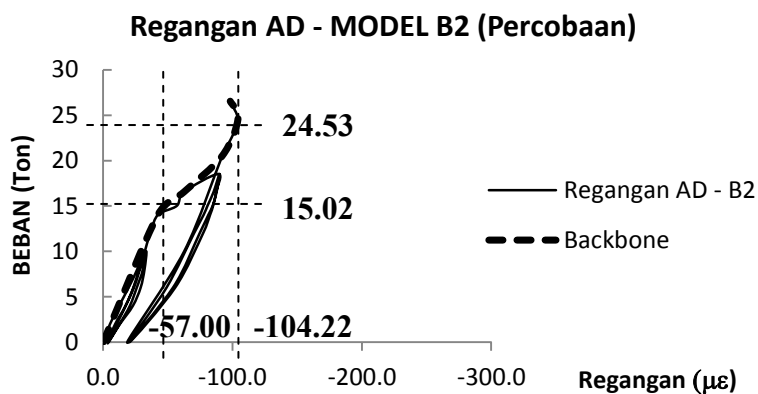
Gambar 4.40 Grafik beban vs regangan AL model-C3 hasil percobaan

#### 4.9.6. Pengamatan Regangan Tulangan Atas Lapis Dalam (Regangan AD)

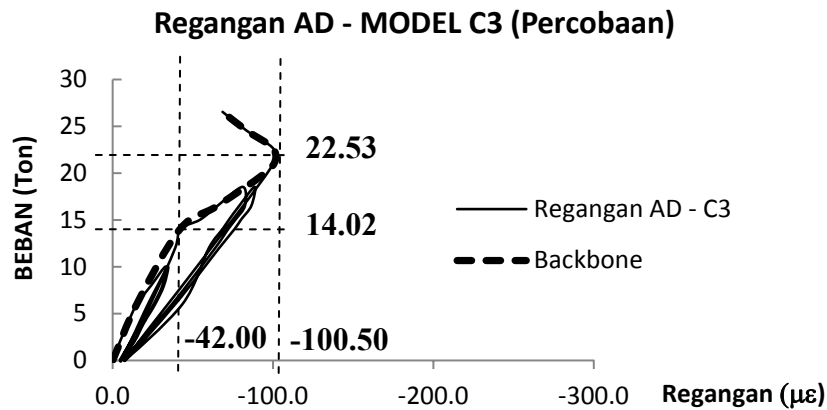
*Strain gauge* (AD) adalah alat monitor regangan yang dipasang pada tulangan atas lapis dalam. Dari pantauan regangannya terlihat sama dengan perilaku regangan yang terjadi pada regangan baja (AL), hanya saja nilai regangannya sedikit lebih kecil. Hal ini karena posisi *strain gauge* (AD) sedikit lebih mendekati garis netral dibandingkan dengan *strain gauge* AL. Bila hasil monitoring *strain gauge* (AD) digambarkan dalam bentuk grafik, dapat dilihat pada Gambar 4.41 sampai dengan Gambar 4.43.



Gambar 4.41 Grafik beban vs regangan AD model-A2 hasil *percobaan*



Gambar 4.42 Grafik beban vs regangan AD model-B2 hasil *percobaan*



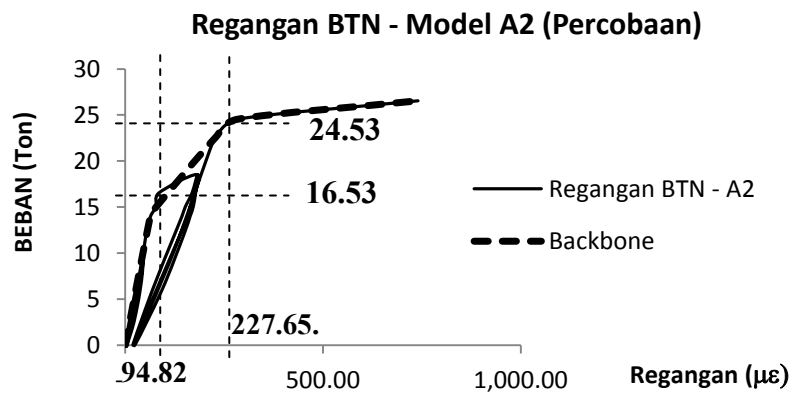
Gambar 4.43 Grafik beban vs regangan AD model-C3 hasil percobaan

#### 4.9.7. Pengamatan Regangan Beton Sisi Bawah (Regangan BTN)

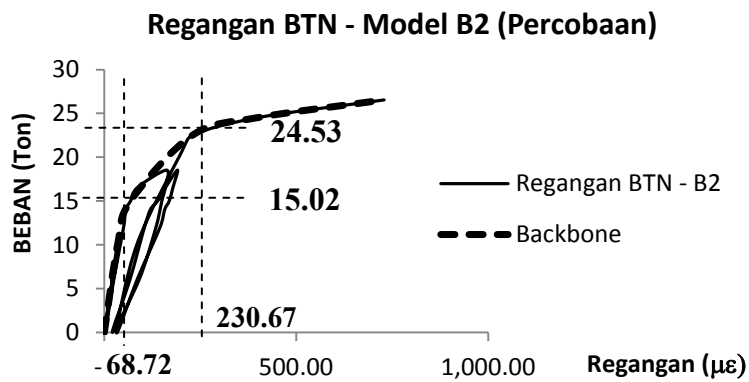
Untuk membandingkan regangan yang dilihat dari hasil percobaan, maka diambil pengamatan pada saat retak, yaitu pada beban 16.53 ton untuk benda uji-model-A, 15.02 ton untuk benda uji model-B dan 14.02 ton untuk benda uji model-C.

Strain gauge beton (BTN) dipasang pada beton sisi bawah yang posisinya searah dengan *strain gauge* (BD), tegak lurus garis sambungan antar komponen pracetak dan disebut arah X. Namun posisi elevasinya sedikit lebih rendah dari strain gauge (BD). Hasil pengamatan pergerakan regangannya menunjukkan bahwa kurva *backbone* dari pergerakan regangannya mengalami perubahan 2 kali, yaitu pada saat awal retak dan pada saat posisi retaknya sudah naik mencapai posisi *strain gauge* beton, sehingga *strain gauge* beton pada saat ini bekerja penuh, dimana sebelumnya pergerakan strain gauge beton masih menahan bersama dengan beton yang belum mengalami retak.

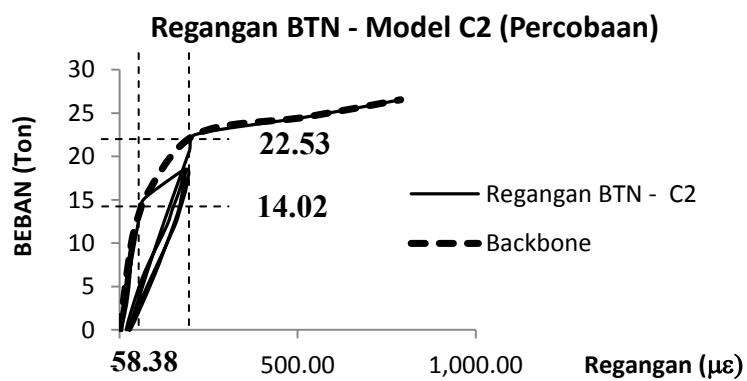
Bila dihubungkan dengan kurva pergerakan regangan yang dilihat dari *Transducer* arah X seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.44 sampai dengan 4.46.



Gambar 4.44 Grafik beban vs regangan BTN model-A2 hasil percobaan



Gambar 4.45 Grafik beban vs regangan BTN model-B2 hasil percobaan

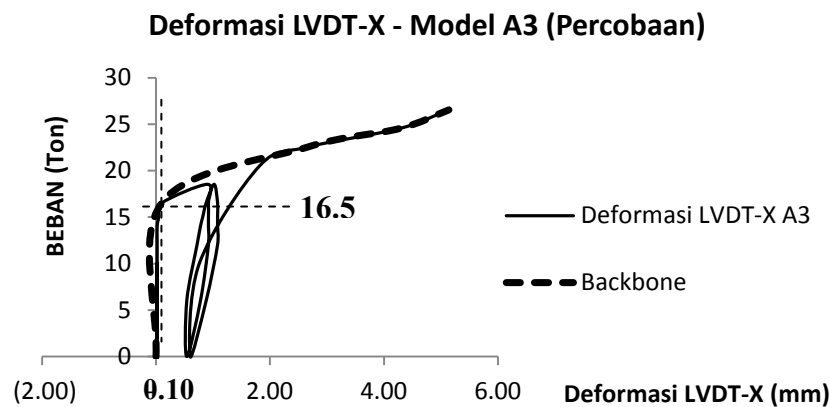


Gambar 4.46 Grafik beban vs regangan BTN model-C2 hasil percobaan

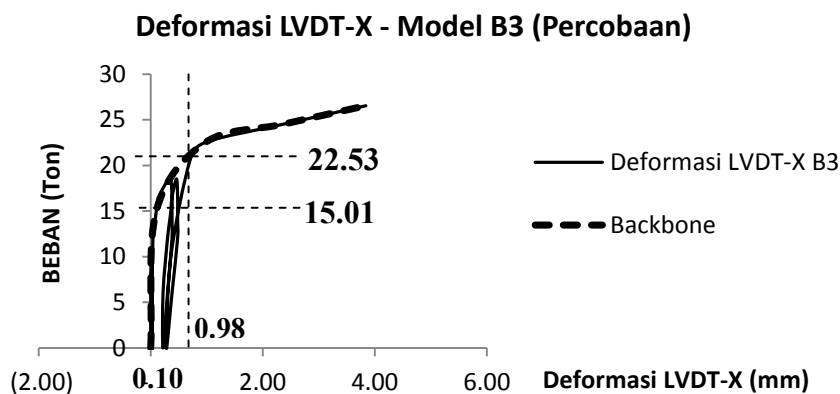
#### 4.9.8. Pengamatan Deformasi Horizontal Beton Sisi Bawah di Tengah Bentang Arah-X (LVDT-X)

*Transducer / LVDT* yang dipasang di tengah bentang dalam arah horizontal melintang (arah-X) diharapkan dapat memonitor lebar retak yang terjadi di tengah bentang. Hasil pengamatannya memperlihatkan bahwa mulai pembebanan awal, *Transducer* tidak menunjukkan Bergerakannya sampai mendekati beton mengalami keretakan awal. Setelah itu baru bergerak sedikit demi sedikit yang pada akhirnya mengalami keretakan. Hal ini karena alat monitoring dipasang menempel pada beton sisi bawah, sehingga pada saat beton melentur, *transducer / LVDT* tidak mengalami pergerakan. Setelah beton mengalami keretakan, *LVDT* baru mulai mengalami pergerakan.

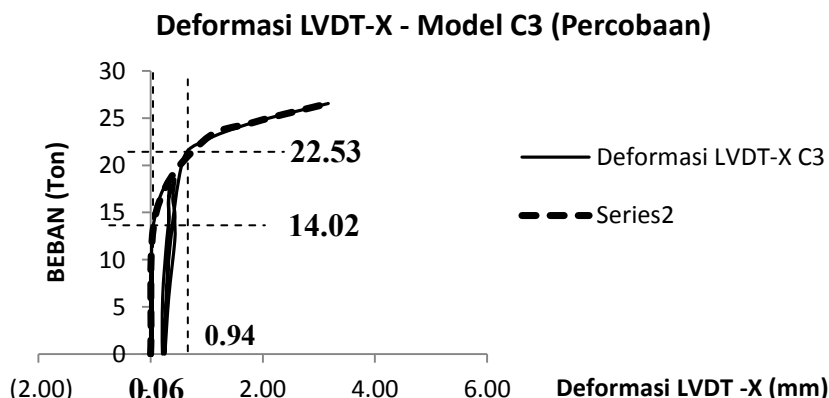
Evaluasi Pergerakan *LVDT* arah X untuk model A diwakili oleh A3, model B diwakili B2 dan model C diwakili C2. Pergerakan *LVDT* tersebut bila digambarkan dalam bentuk grafik, dapat dilihat pada Gambar 4.47 sampai dengan Gambar 4.49.



Gambar 4.47 Grafik beban vs deformasi LVDT-X model-A3 hasil percobaan



Gambar 4.48 Grafik beban vs deformasi LVDT-X model-B3 hasil percobaan



Gambar 4.49 Grafil beban vs deformasi LVDT-X model-C3 hasil percobaan

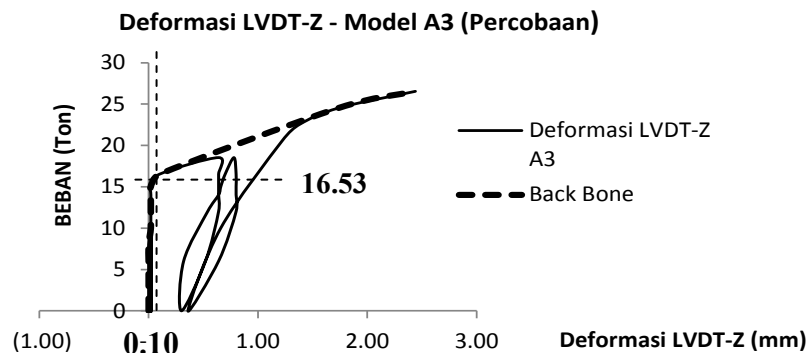
Bila dilihat dari back bone kurva pergerakan *Transducer / LVDT* arah-X, menunjukkan bahwa kurva hasil plotting monitoring *Transducer* arah-X mengalami perubahan arah 2 kali, dimana perubahan arah yang pertama terjadi pada pada beban awal retak dan perubahan yang kedua terjadi pada beban 24.53 ton untuk model A dan 22.53 ton. Sedangkan untuk model B dan C pada beban 22.53 ton. Hal ini kemungkinan akibat terjadinya keretakan yang ke dua pada sambungan antar komponen pracetak khususnya pada model-B dan model-C. Sedangkan pada model A perubahan arah hanya terjadi 1 kali, yaitu pada saat retak awal saja, karena pada model A tidak terdapat sambungan.



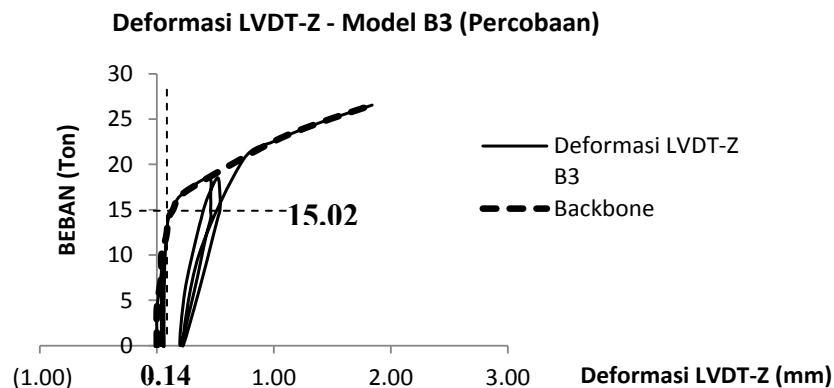
#### 4.9.9. Pengamatan Deformasi Horizontal Beton Sisi Bawah di Tengah Bentang Arah-Z (LVDT-Z)

Berbeda dengan pengamatan *transducer* / *LVDT* arah-X, dimana pada pengamatan Transducer arah-Z, bila diamati dari back bone kurva deformasi horizontal di tengah bentang, perubahan arahnya hanya terjadi 1 kali saja. Hal ini karena pada arah Z sisi bawah tidak terdapat sambungan apapun, baik pada benda uji model A, benda uji model B maupun benda uji model C, sehingga tidak terjadi loncatan perubahan arah lagi pada kurva backbone-nya.

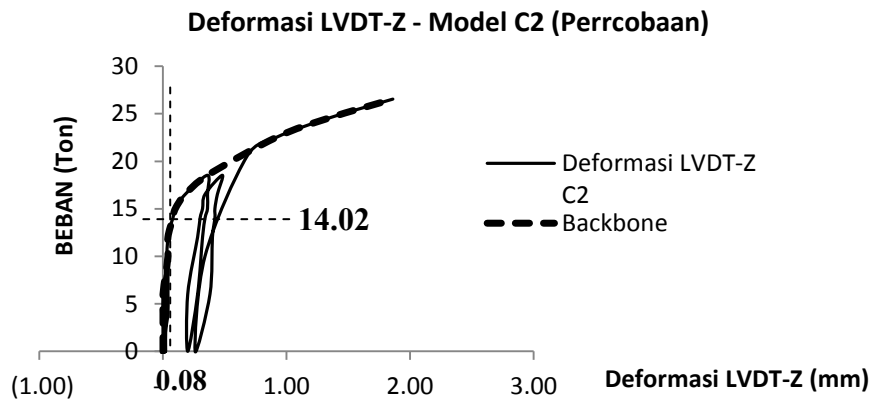
Evaluasi Pergerakan *LVDT* arah Z untuk model A diwakili oleh A3, model B diwakili B3 dan model C diwakili C2. Pergerakan *LVDT* tersebut bila digambarkan dalam bentuk grafik, dapat dilihat pada Gambar 4.50 sampai dengan Gambar 4.52.



Gambar 4.50 Grafik beban vs deformasi LVDT-Z model-A3 hasil percobaan



Gambar 4.51 Grafil beban vs deformasi LVDT-Z model-B3 hasil percobaan



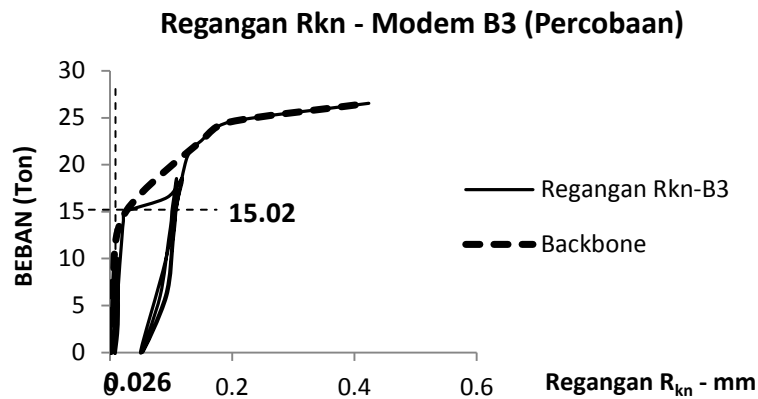
Gambar 4.52 Grafik beban vs deformasi LVDT-Z model-C2 hasil percobaan

#### 4.9.10. Pengamatan Deformasi Horizontal pada Batas Sambungan antar Komponen Pracetak Sisi Kanan (Regangan $R_{kn}$ dan $R_{kr}$ )

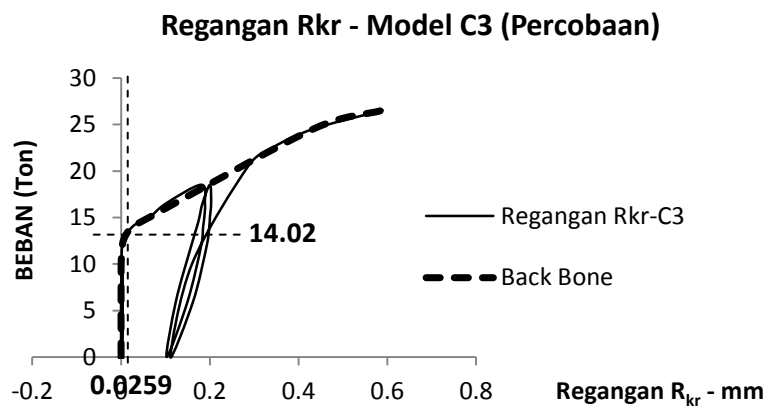
Deformasi horizontal yang terjadi pada daerah sambungan, dipantau dari pergerakan *strain gauge* yang dipasang diantara sambungan antar komponen pelat pracetak dan hanya dipasang pada benda uji model B dan model C. *Strain gauge* yang dipasang adalah jenis *ring plate* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.16 dengan notasi *Strain gauge*  $R_{kn}$  dan  $R_{kr}$ .

Dari peninjauan pergerakan *strain gauge*  $R_{kn}$  dan  $R_{kr}$  dengan melihat back bone dari kurva menunjukkan bahwa mulai pembebanan 2 ton hingga beban retak awal, *strain gauge*  $R_{kn}$  dan  $R_{kr}$  hampir tidak mengalami pergerakan. Setelah retak awal, back bone dari kurva deformasinya, *strain gauge*  $R_{kn}$  dan  $R_{kr}$  baru mengalami kenaikan. Kemudian pada beban 24.54 ton, back bone dari kurva deformasinya mengalami pergerakan yang besar sehingga kurva back bone berubah arah lagi dan lebih landai.

Bila dilihat dari nilainya dan dibandingkan dengan nilai deformasi strain gauge horizontal arah X, terlihat bahwa nilai deformasi di tengah bentang lebih besar dari nilai regangan di lokasi sambungan antar komponen pracetak. hal ini menunjukkan bahwa keretakan terjadi pada tengah bentang terlebih dahulu dari pada keretakan pada lokasi sambungan antar komponen pracetak. *Strain gauge*  $R_{kn}$  untuk model B yang terbaca adalah model B3. Sedangkan untuk *strain gauge*  $R_{kr}$  yang terbaca adalah pada benda uji C3. Hasil monitoringnya bila digambarkan dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 4.53 dan 4.54.



Gambar 4.53 Grafik beban vs regangan Rkn model-B3 hasil percobaan



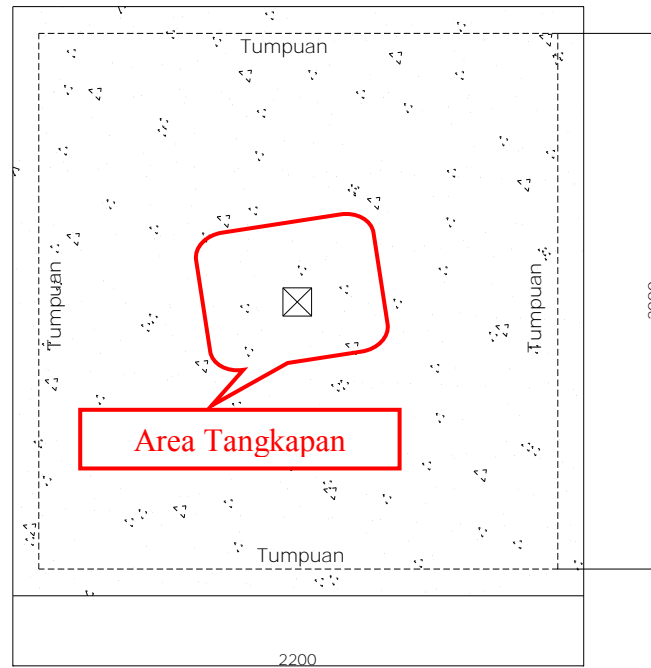
Gambar 4.54 Grafik beban vs regangan Rkr model-C3 hasil percobaan

#### 4.9.11. Pengamatan Perkembangan Retak di Tengah Bentang Sisi Bawah Pelat

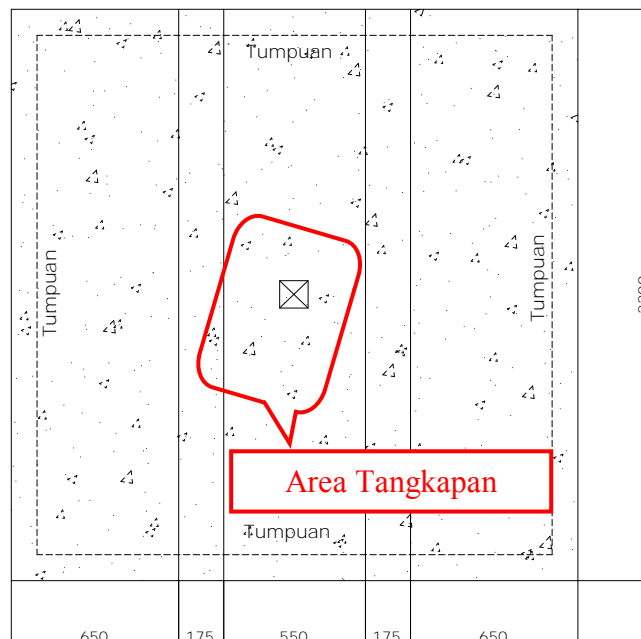
Selama pembebanan, dilakukan pengamatan terhadap pergerakan retak yang terjadi di sisi bawah permukaan pelat, baik pelat yang monolit, maupun sistem half slab precast. Adapun pengamatannya dilakukan secara visual.

Pengamatan retak dilakukan dengan menggunakan kamera yang diletakkan di bawah benda uji. Namun karena jarak kamera dengan sisi bawah benda uji hanya sekitar 70 cm, maka lensa kamera tidak dapat menjangkau seluruh permukaan pelat benda uji, tetapi hanya sebagian dari

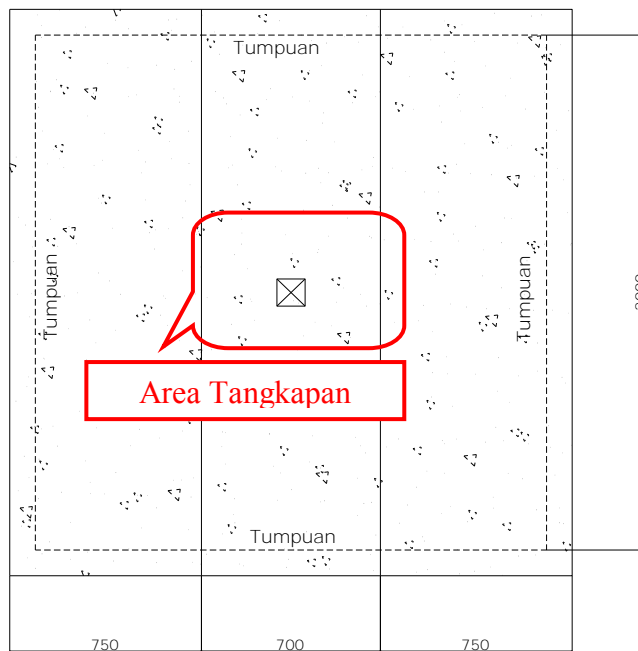
permukaan bawah benda uji dengan area tangkapan kamera seperti ditunjukkan pada Gambar 4.55 sampai dengan Gambar 4.57.



Gambar 4.55 Area tangkapan kamera model-A (*percobaan*)

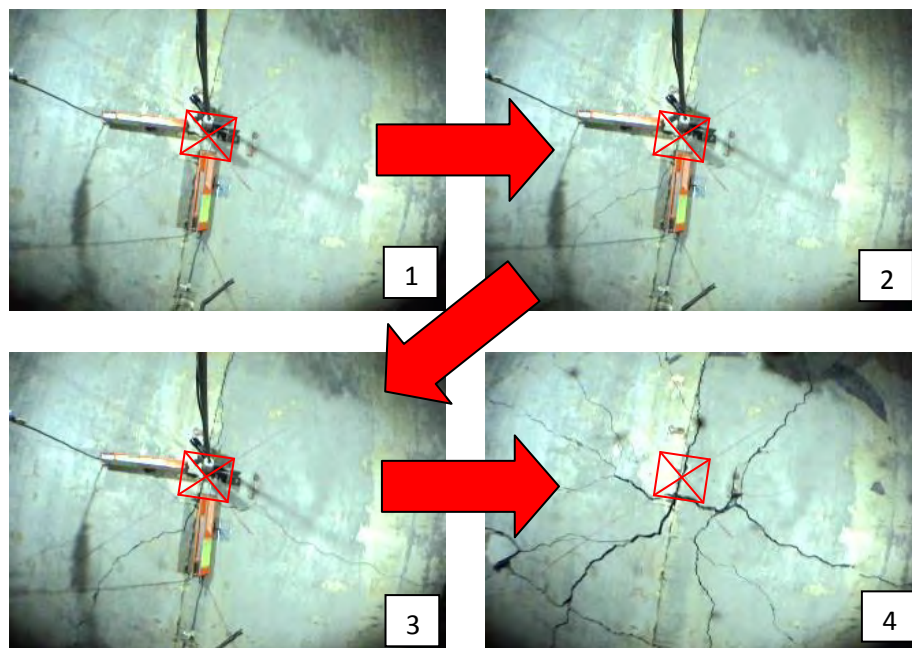


Gambar 4.56 Area tangkapan kamera model-B (*percobaan*)

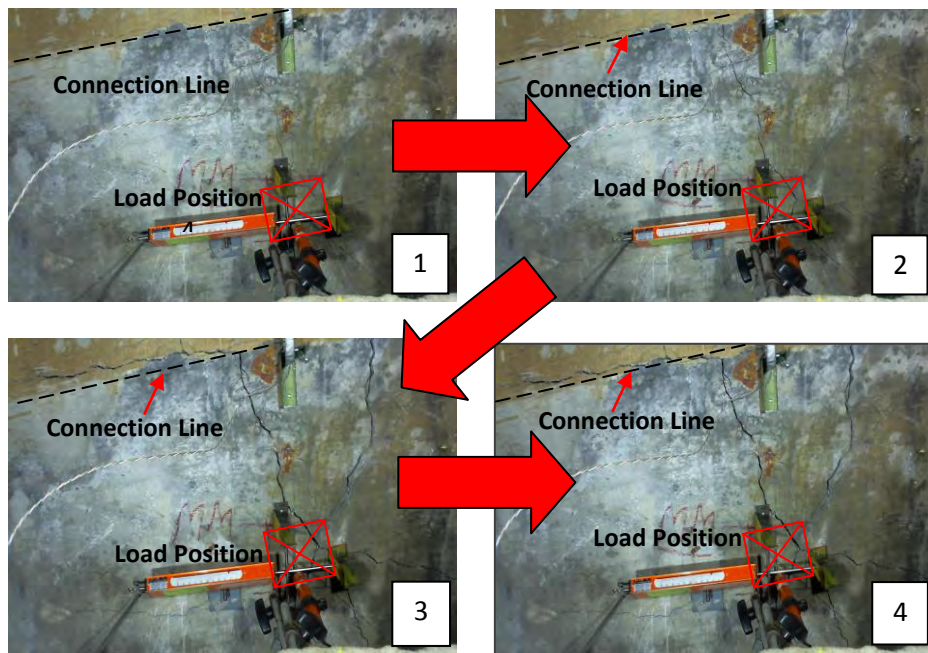


Gambar 4.57 Area tangkapan kamera model-C (Percobaan)

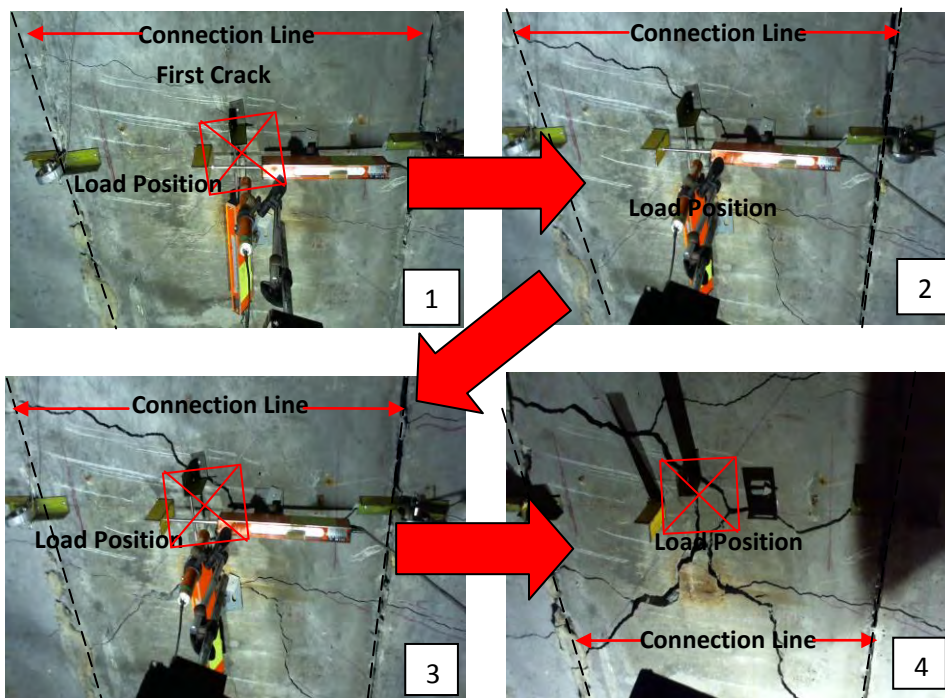
Hasil monitoring retak pada sisi bawah pelat yang ditangkap kamera dan bila digambarkan sketsanya dapat dilihat pada Gambar 4.58 sampai dengan 4.60.



Gambar 4.58 Perkembangan retak di tengah bentang sisi bawah pelat model-A

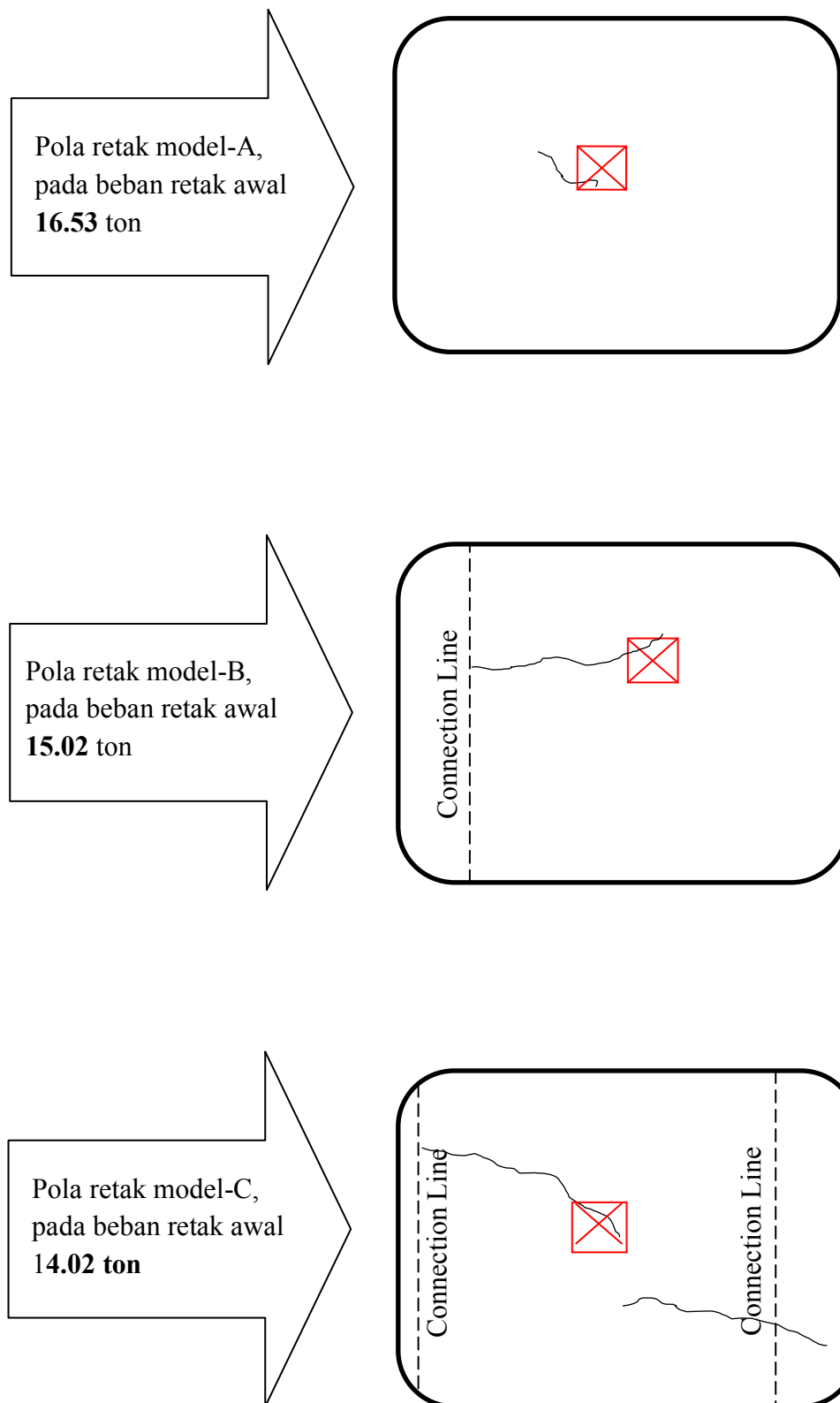


Gambar 4.59 Perkembangan retak di tengah bentang sisi bawah pelat model-B



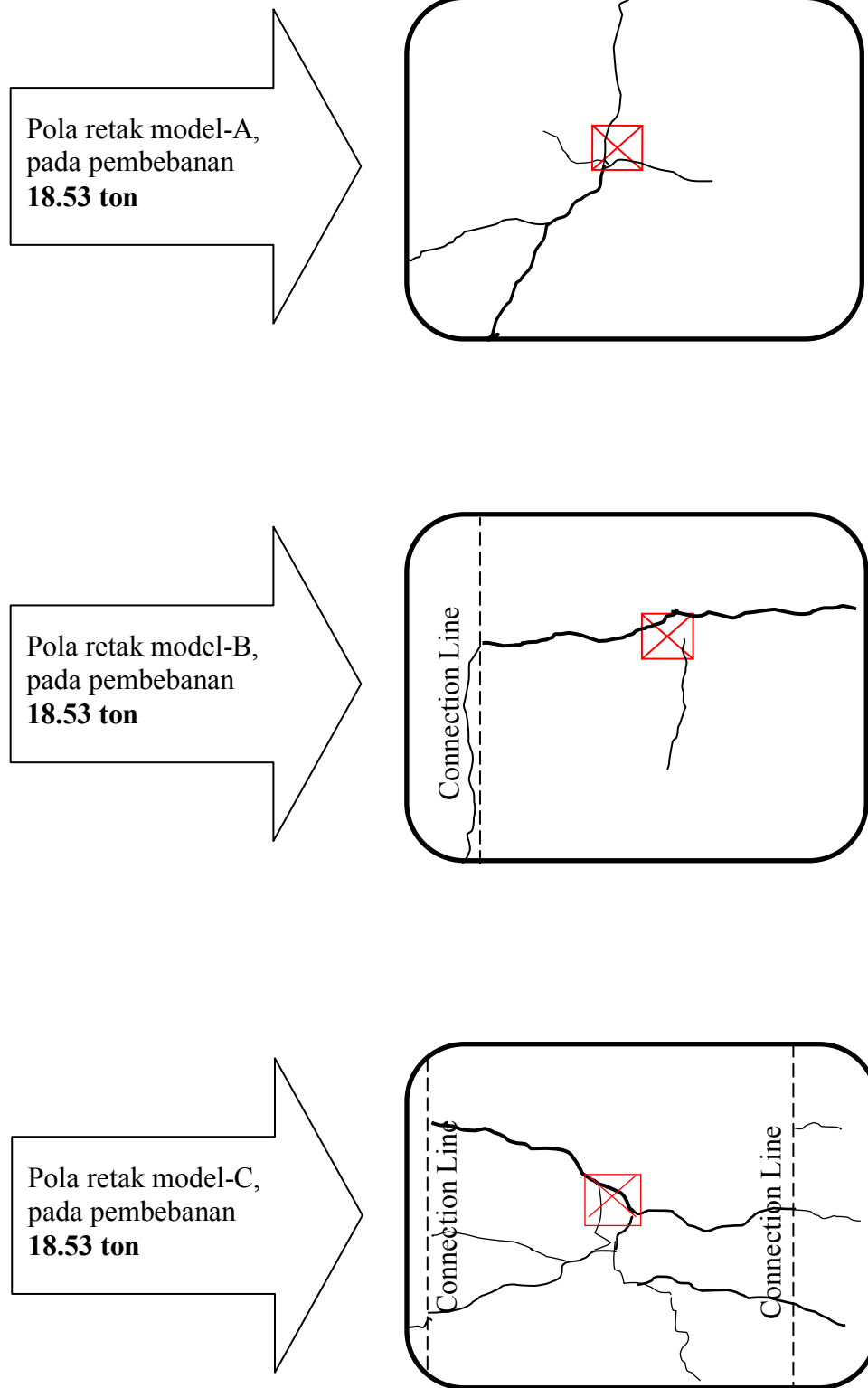
Gambar 4.60 Perkembangan retak di tengah bentang sisi bawah pelat model-C

Dari hasil pengamatan percobaan, bahwa pola retak pelat monolit model-A untuk pembebanan terpusat *loading - unloading* terbentuk dari awal sampai dengan mendekati ultimate dalam arah diagonal. Sedangkan untuk pelat *half slab* model-B dan model-C retak yang terjadi di awal adalah di tengah bentang dengan arah melintang atau hampir tegak lurus dengan arah sambungan antar komponen pracetak. Kemudian retak berikutnya terjadi pada batas antara panel pracetak yang sudah mulai membuka. Setelah itu rambatan retak berikutnya mulai pada arah diagonal. Kejadian urutan retak tersebut juga ditandai oleh terjadinya konsentrasi tegangan pada tulangan bawah berada di tengah bentang yang menunjukkan bahwa di tempat itulah terjadinya retak awal. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa untuk pembebanan terpusat *loading - unloading* pada awalnya pelat sistem half slab precast yang dibebani lentur sampai kondisi batas elastis, sesaat masih berperilaku sebagai pelat satu arah khususnya pada komponen pracetaknya. Kemudian setelah itu baru secara bersama – sama antara komponen pracetak dan *overtopping*-nya dapat berperilaku sebagai pelat dua arah setelah sambungan antar komponen pracetak sudah mengencang sehingga bisa bekerja tarik sempurna. Bila perkembangan retak berdasarkan kenaikan bebannya digambarkan secara sketsa dua dimensi, dapat dilihat pada Gambar 4.61 sampai dengan 4.64.

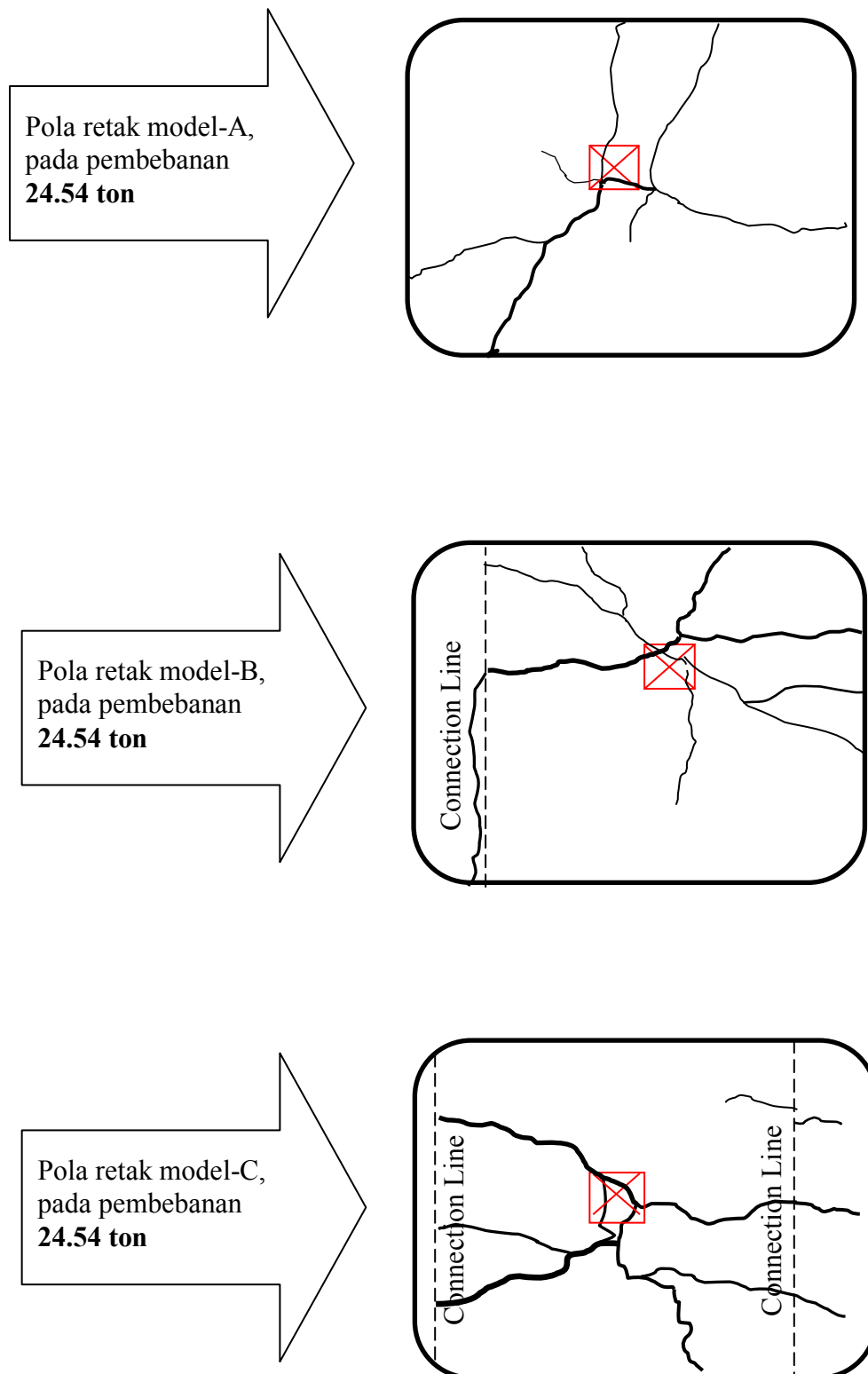


Gambar 4 61 Pola retak pelat model A, B dan C pada beban retak awal

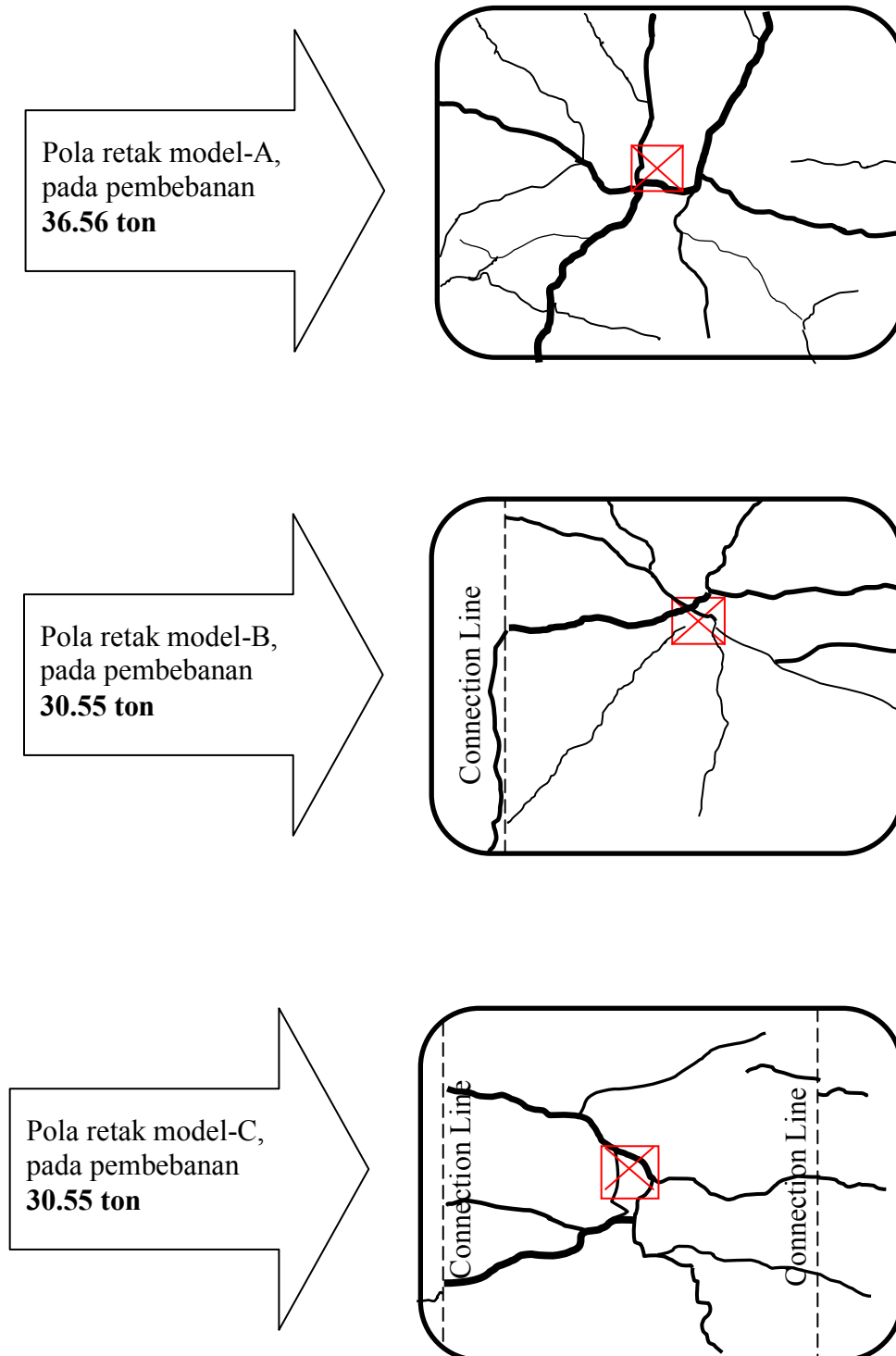




Gambar 4.62 Pola retak pelat model A, B dan C pada beban 18.53 ton



Gambar 4.63 Pola retak pelat model A, B dan C pada beban 24.54 ton



Gambar 4.64 Pola retak pelat model A, B dan C pada beban Runtuh

Keruntuhan benda uji yang diamati dari hasil percobaan terjadi pada saat pembebanan sudah tidak bisa ditahan lagi oleh benda uji. Hal ini ditandai oleh beban yang sudah bisa naik lagi walaupun hydraulic jack dilakukan pemompaan terus menerus. Kerusakan yang terjadi yaitu terdesaknya permukaan pelat beton sisi atas oleh bidang penekan di bawah hydraulic jack atau terjadi geser pons seperti ditunjukkan pada Gambar 4.65 Kejadian kerusakan seperti ini menandakan bahwa pelat benda uji masih terlalu tebal, sehingga tidak terjadi keruntuhan lentur.



Gambar 4.65 Model keruntuhan untuk pelat model A, B dan C pada beban runtuh

#### 4.9.12. Hasil Uji Silinder *Core Drill*

Material beton yang digunakan dilakukan uji ulang setelah pengujian benda uji untuk konfirmasi kualitas beton yang sudah diuji terhadap silinder beton uji yang dilakukan sebelum pengecoran. Pengujian ini dilakukan dengan mengambil sampel dari hasil coredrill. Sehubungan ketebalan komponen pracetak adalah 120 mm dan ketebalan overtopping 8 mm, maka diameter coredrill dilakukan dengan diameter 75 mm yang diambil secara horizontal seperti ditunjukkan pada Gambar 4.66.



Gambar 4.66 Pengambilan sampel *core drill*

. Hasil pengeboran (coredrill) terdapat 9 benda uji silinder yang terdiri dari :

- 3 Silinder Beton Monolit
- 3 Silinder Beton Komponen Pracetak
- 3 Silinder Beton Komponen *Overtopping*

Hasil uji silinder beton dari core drill ternyata lebih tinggi dari hasil uji silinder yang diambil pada saat sebelum pengecoran. Adapun hasil pengujiannya secara rata – rata dapat dilihat pada Tabel 4.10 dan secara rinci dapat dilihat pada Lampiran 3.

Tabel 4.10 Hasil Uji *Core Drill*

Komponen	Benda Uji 1		Benda Uji 2		Benda Uji 3		Rata - rata	
	Mpa	Kg/cm2	Mpa	Kg/cm2	Mpa	Kg/cm2	Mpa	Kg/cm2
Monolit	50.32	594.75	43.27	511.42	47.39	560.13	46.99	555.43
Precast	50.41	595.74	46.83	553.50	50.26	594.02	49.17	581.09
Overtopping	33.78	399.72	55.81	659.60	48.08	568.13	45.89	542.48

## **BAB V**

### **PERHITUNGAN DENGAN *FEM* DAN ANALITIS**

Perhitungan analitis dan *Finite Elemen Method (FEM)* dilakukan untuk mengkonfirmasi hasil percobaan di laboratorium, sehingga bila hasilnya mendekati sama, maka proses percobaan di laboratorium bisa dianggap valid.

Analisis *FEM* dilakukan untuk model A, B dan C dan bisa dilakukan sampai melewati batas elastis atau sampai dengan kondisi non linear. Hal ini karena proses analisisnya menggunakan software yang berbasis elemen hingga, sehingga mudah dilakukan.

Perhitungan analitis dan *FEM* dilakukan terhadap model benda uji yang telah diuji dan didasarkan pada kondisi pengujian baik setup pengujian, dimensi maupun mutu materialnya.

Perhitungan analitis dilakukan hanya sampai pada batas elastis saja untuk selanjutnya dibandingkan dengan hasil eksperimen sebagai validasi hasil uji sampai pada batas pembebanan elastis. Sehingga yang bisa dikonfirmasi hanya pelat model-A saja. Hal ini dilakukan karena teori dan perumusan yang digunakan dalam analisis hanya mendukung sampai pada batas elastis.

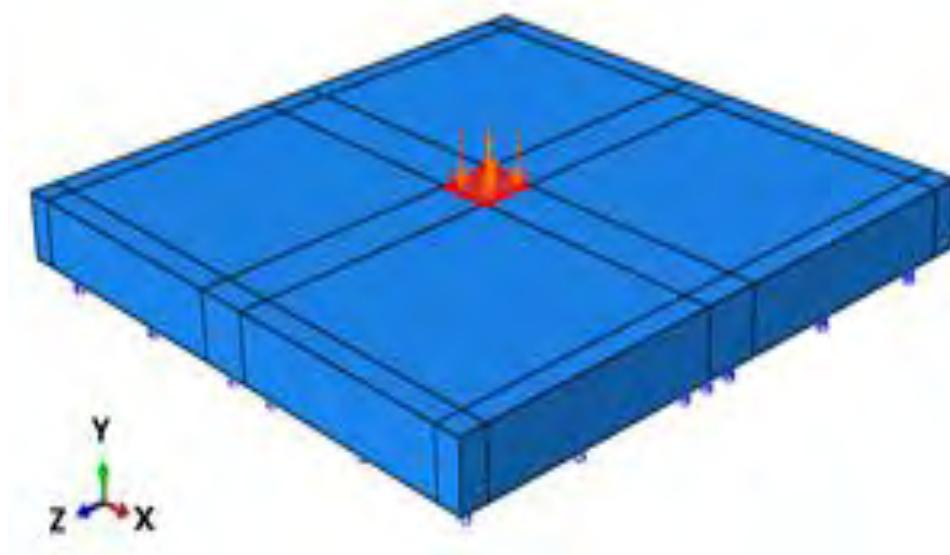
#### **5.1. Analisis *FEM* Pelat Berdimensi 2 m x 2 m untuk Validasi Hasil Percobaan dengan Pembebanan Loading - Unloading**

Untuk memvalidasi hasil percobaan, maka dilakukan pula analisis *FEM* dengan menggunakan software yang berbasis elemen hingga (Abaqus 6.14). Adapun pemodelan struktur yang dilakukan, dapat dijelaskan sebagai berikut :

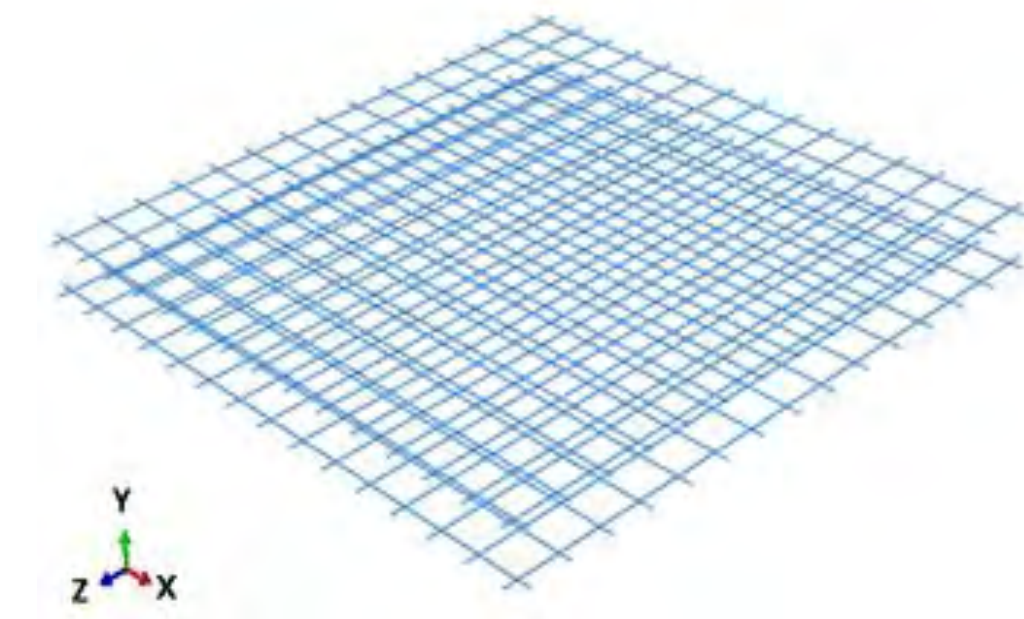
##### **5.1.1. Pemodelan**

Benda uji pelat beton dalam program Abaqus dimodelkan sebagai elemen *„Solid Homogeneous’*, sedangkan baja tulangannya dimodelkan sebagai elemen *„Beam’*. Untuk pemodelan benda uji model – A yang dibuat dapat dilihat pada Gambar 5.1. dan Gambar 5.2. sedangkan untuk *meshing*, dibuat dengan menyesuaikan jarak tulangan. Karena jarak tulangan sebagian besar sejauh 15 cm, maka *meshing* dibuat sebesar 5 cm, sehingga sebagian besar elemen tulangan tepat pada perbatasan elemen beton. Penyesuaian bentuk *meshing* element di

sekitar sambungan antar komponen pracetak dan di sekitar tumpuan dilakukan secara otomatis oleh software abaqus, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.3, Gambar 5.7 dan Gambar 5.11.

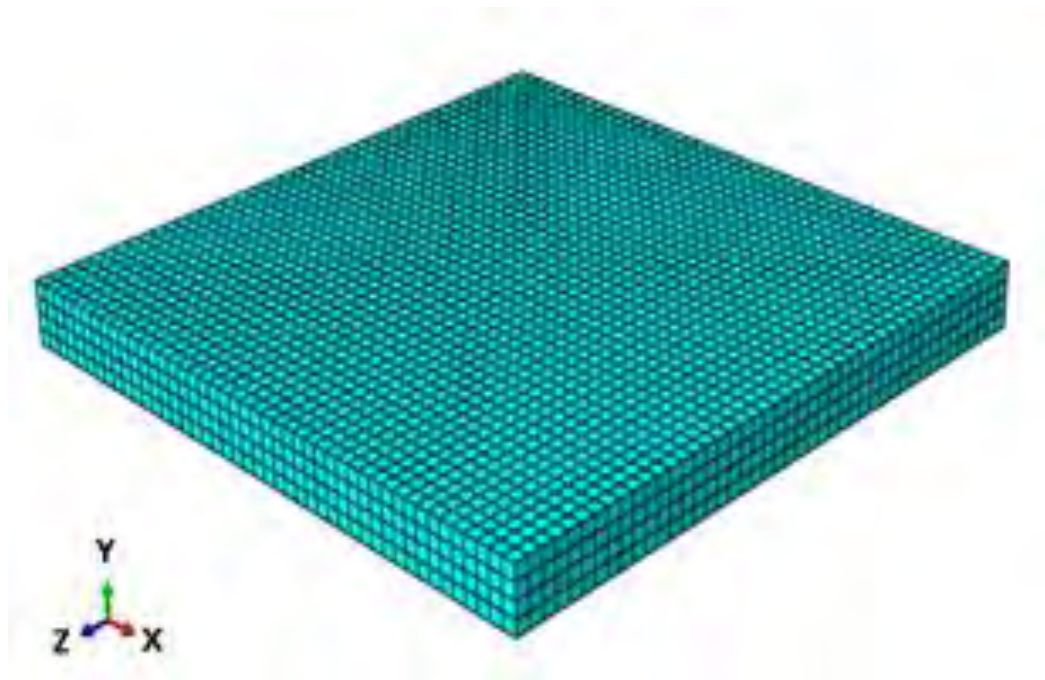


Gambar 5.1 Pemodelan benda uji model-A



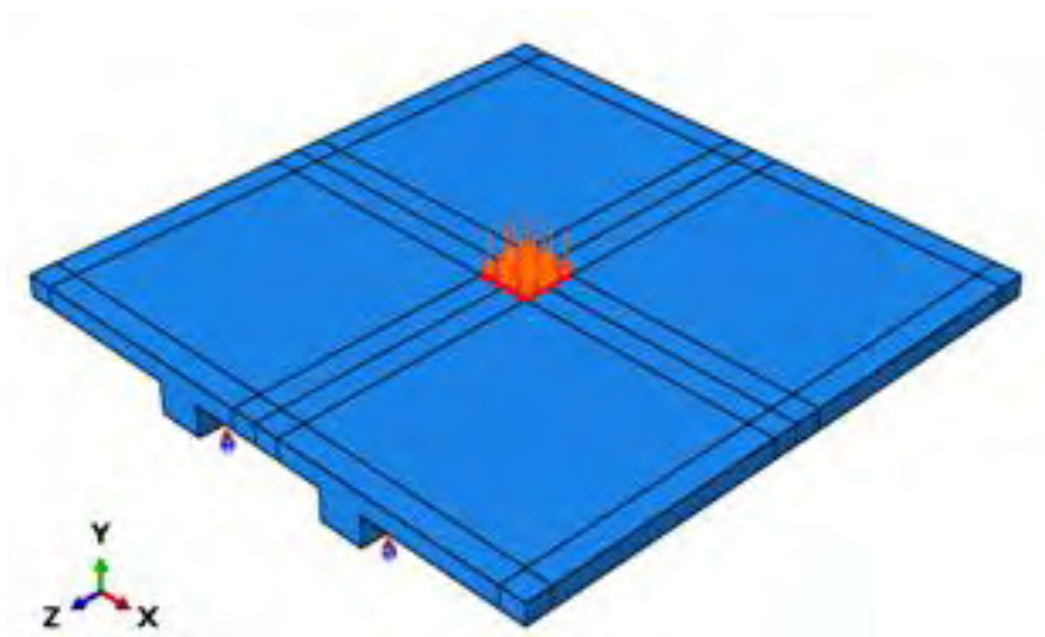
Gambar 5.2 Pemodelan penulangan pelat model-A



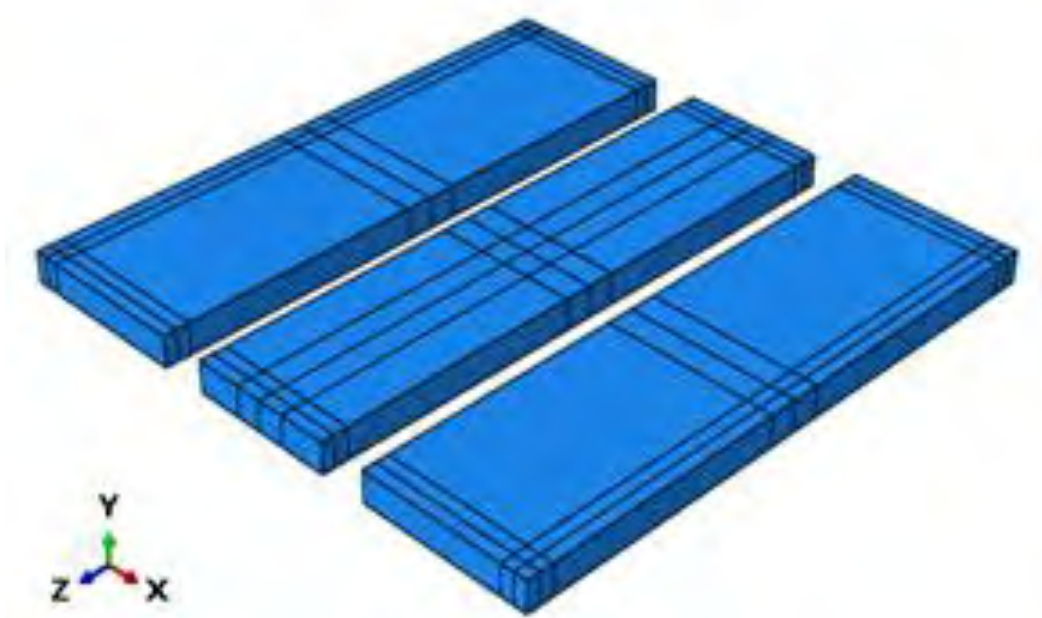


Gambar 5.3 Model *meshing* benda uji model.A

Untuk pemodelan benda uji model-B yang dibuat dapat dilihat pada Gambar 5.4. sampai dengan Gambar 5.6.



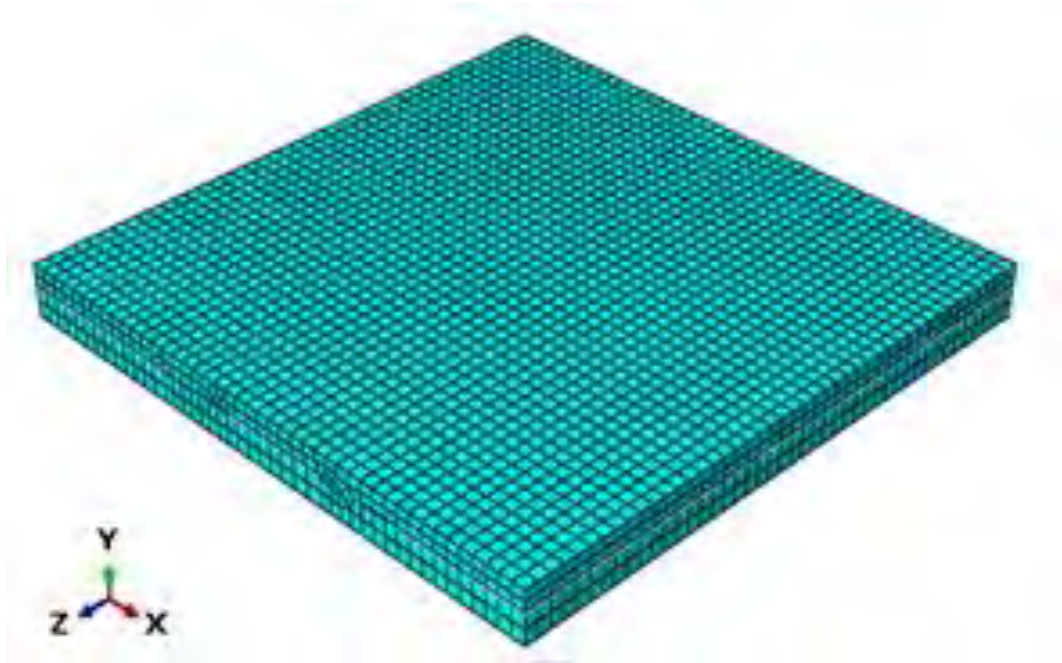
Gambar 5.4 Pemodelan *overtopping* benda uji model B



Gambar 5.5 Pemodelan pelat pracetak benda uji model-B

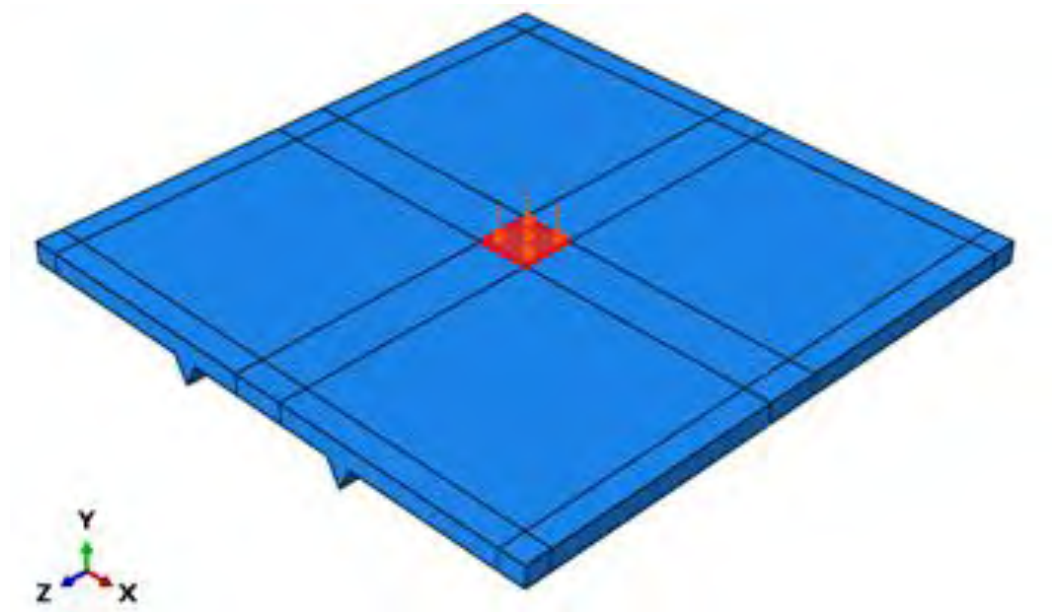


Gambar 5.6 Pemodelan penulangan benda uji model-B



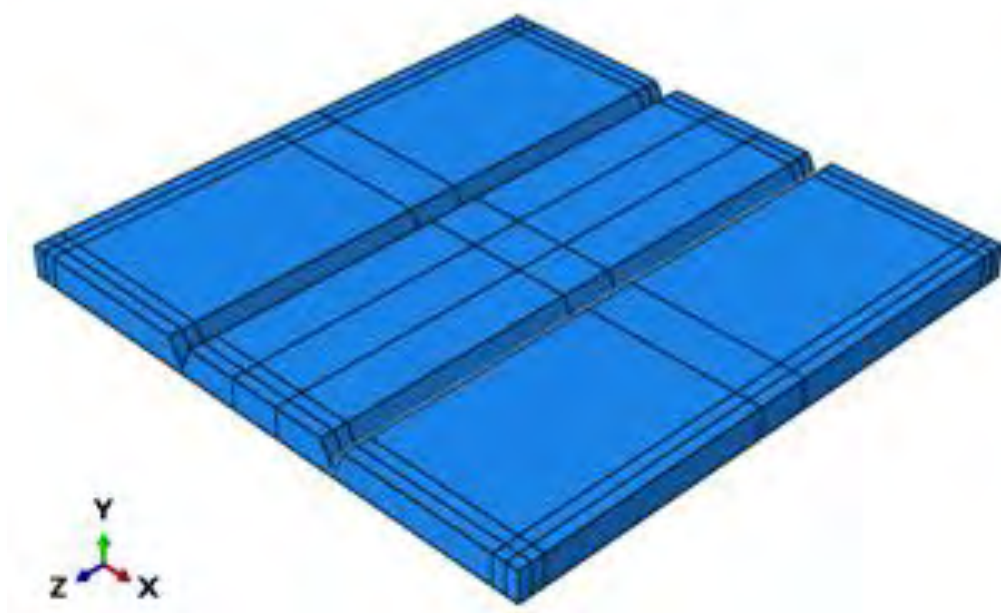
Gambar 5.7 Model *meshing* benda uji model-B

Untuk pemodelan benda uji model-C yang dibuat dapat dilihat pada Gambar 5.8. sampai dengan Gambar 5.10.

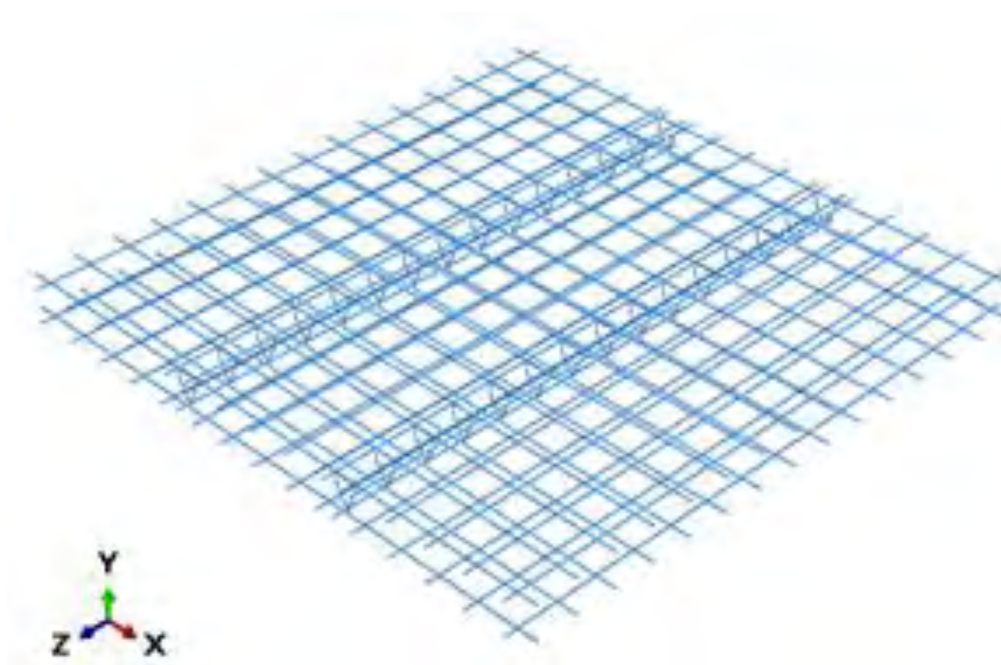


Gambar 5.8 Pemodelan *overtopping* benda uji model-C

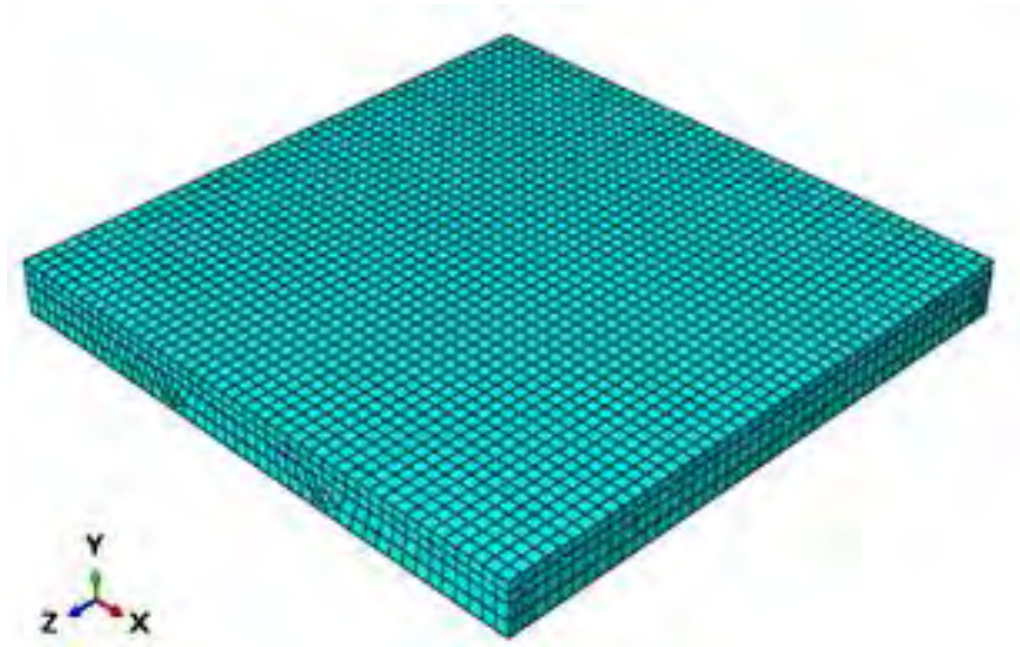




Gambar 5.9 Pemodelan pelat pracetak benda uji model-C



Gambar 5.10 Pemodelan penulangan benda uji model-C



Gambar 5.11 Model *meshing* benda uji model-C

### 5.1.2. Input Data Material

Data material yang dimasukkan ke dalam program sebagai input data adalah untuk material beton dan material baja tulangan yang disesuaikan dengan hasil uji aktual material di laboratorium baik beton maupun baja tulangan. Adapun data material yang dimaksud adalah sebagai berikut :

Mutu beton monolit	= $f_c''$ (monolit)	= 46 MPa
Mutu beton overtopping	= $f_c''$ (overtopping)	= 46 MPa
Mutu beton pracetak	= $f_c''$ (pracetak)	= 49 MPa
Mutu baja tulangan	= $f_y$	= 384 MPa
Modulus elastisitas baja	= $E$ baja	= 200.000 MPa
Berat volume beton	= 2400 kg/m <sup>3</sup>	= 7.70E-005 N/mm <sup>3</sup>
Berat volume baja	= 7850 kg/m <sup>3</sup>	= 2.35E-005 N/mm <sup>3</sup>

### 5.1.3. *Input Concrete Damage Plasticity (CDP)*

Input data *CDP* dimasukkan untuk keperluan mendapatkan perilaku pelat pada kondisi plastis, dimana parameter – parameter yang harus dimasukkan adalah :

1. *Plasticity*
2. *Compression Behavior*
3. *Tensile Behavior*

Parameter *plasticity* mengacu pada parameter yang diusulkan oleh Kmiecik dan Kaminski, 2011, seperti ditunjukkan pada Tabel 3.1. Sedangkan untuk parameter *compression behavior*, parameter yang harus dimasukkan dihitung dengan menggunakan perumusan yang diusulkan oleh Pavlovic dkk., (2013) yaitu persamaan 3.2 sampai dengan persamaan 3.6.

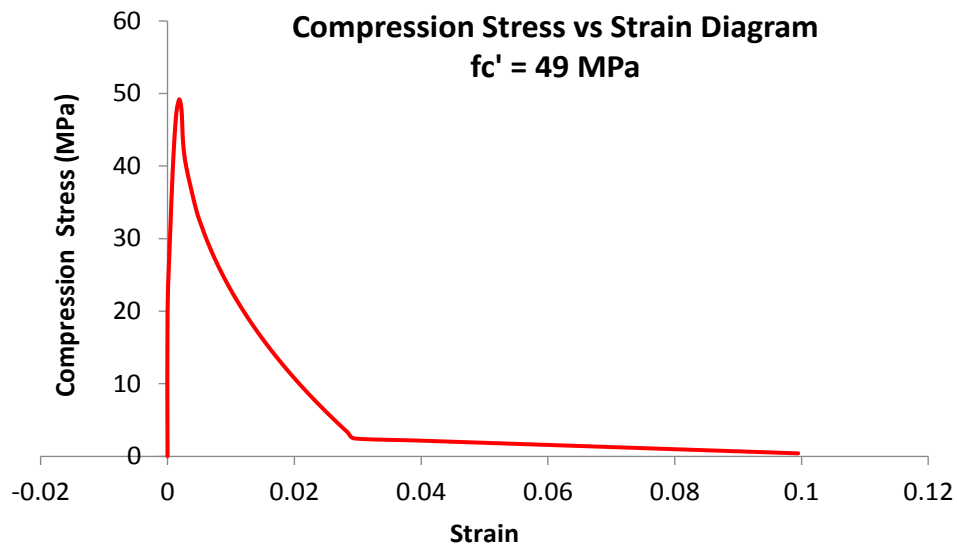
Untuk parameter *tension behavior* digunakan parameter usulan dari Kmiecik dan Kaminski, (2011), dihitung dengan menggunakan persamaan 3.7. sampai dengan persamaan 3.9.

Adapun parameter – parameter *compression behavior* yang dihitung adalah berupa parameter *inelastic strain*, *compression stress* dan *compression damage parameter* untuk beton dengan  $f_c'' = 49.2$  MPa yang dapat dilihat pada Tabel 5.1. Sedangkan untuk beton dengan  $f_c'' = 46.9$  MPa ditunjukkan pada Tabel 5.2.

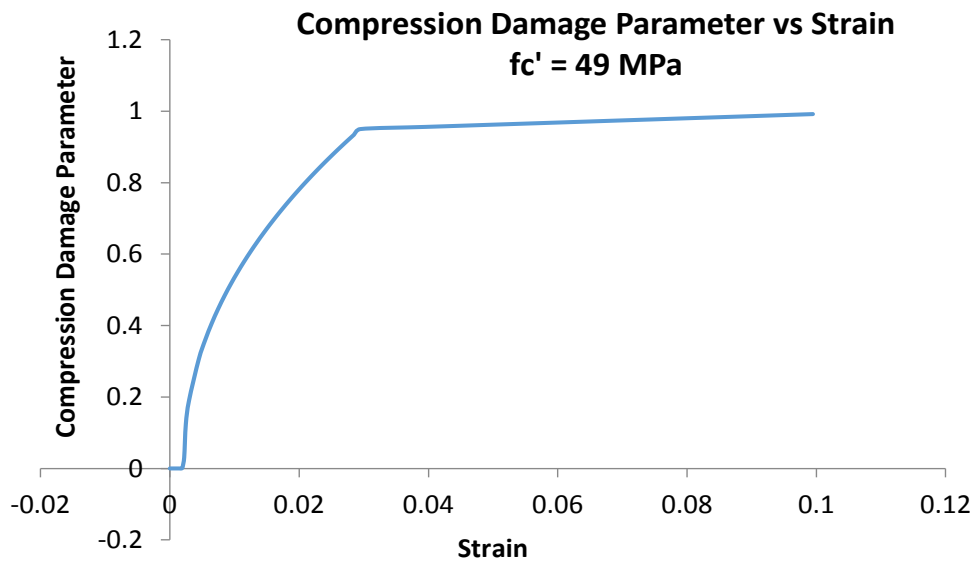
Interaksi antara *inelastic strain* dan *compression stress* untuk beton dengan  $f_c'' = 49.2$  MPa, dapat dilihat pada Gambar 5.12. Sedangkan untuk beton dengan  $f_c'' = 46.9$  MPa ditunjukkan pada Gambar 5.14. Interaksi antara *inelastic strain* dan *compression damage* parameter untuk beton dengan  $f_c'' = 49.2$  MPa dapat dilihat pada Gambar 5.13. sedangkan untuk beton dengan  $f_c'' = 46.9$  MPa dapat dilihat pada Gambar 5.15.

Tabel 5.1 *Inelastic Strain, Compression Stress* dan *Compression Damagae*  
Beton  $f_c'' = 49.2$  MPa

No.	Point	Inelastic Strain	Compression Stress	Compression Damage
			(MPa)	(dc)
1	A	0	0	0
2	B	0	19.67	0
3		0.0005	31.74	0
4		0.0007	37.34	0
5		0.0010	41.93	0
6		0.0012	45.44	0
7		0.0015	47.82	0
8	C	0.0018	49.17	0
9		0.0020	48.99	0.004
10	D	0.0022	47.65	0.031
11		0.0025	43.11	0.123
12		0.0030	39.81	0.190
13		0.0045	34.16	0.305
14		0.0055	31.49	0.360
15		0.0065	29.21	0.406
16		0.0075	27.21	0.447
17		0.0085	25.39	0.484
18		0.0095	23.72	0.518
19		0.0105	22.17	0.549
20		0.0115	20.72	0.579
21		0.0125	19.35	0.607
22		0.0135	18.05	0.633
23		0.0145	16.80	0.658
24		0.0155	15.62	0.682
25		0.0165	14.48	0.706
26		0.0175	13.38	0.728
27		0.0185	12.32	0.749
28		0.0195	11.29	0.770
29		0.0205	10.30	0.791
30		0.0215	9.34	0.810
31		0.0225	8.40	0.829
32		0.0235	7.49	0.848
33		0.0245	6.60	0.866
34		0.0255	5.73	0.883
35		0.0265	4.89	0.901
36		0.0275	4.06	0.917
37		0.0285	3.25	0.934
38	E	0.0295	2.46	0.950
39		0.0395	2.164	0.956
40		0.0495	1.870	0.962
41		0.0595	1.576	0.968
42		0.0695	1.282	0.974
43		0.0795	0.988	0.980
44		0.0895	0.694	0.986
45	F	0.0995	0.400	0.992
46				



Gambar 5.12 Interaksi antara *compression stress* dan *inelastic strain* untuk beton dengan  $f_c'' = 49.2$  MPa.

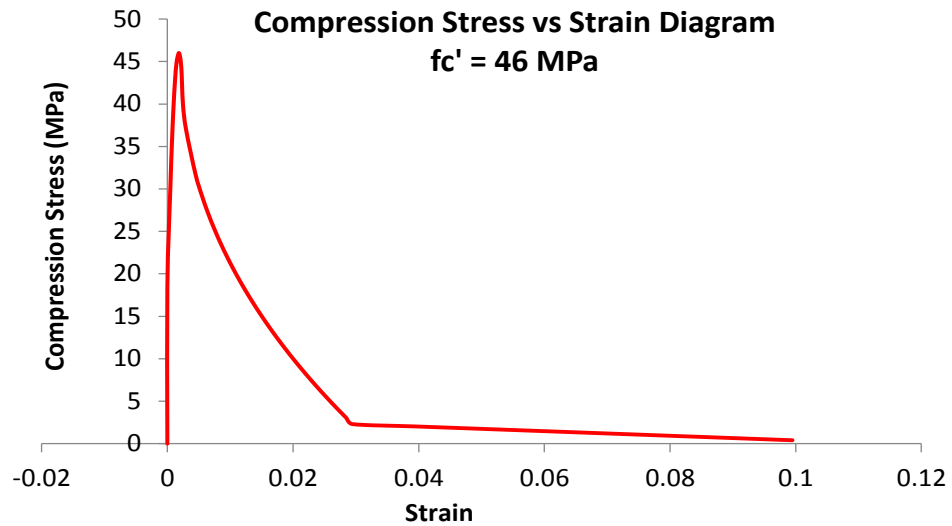


Gambar 5.13 Interaksi antara *inelastic strain* dan *compression damage parameter* untuk betaon dengan  $f_c' = 49.2$  MPa

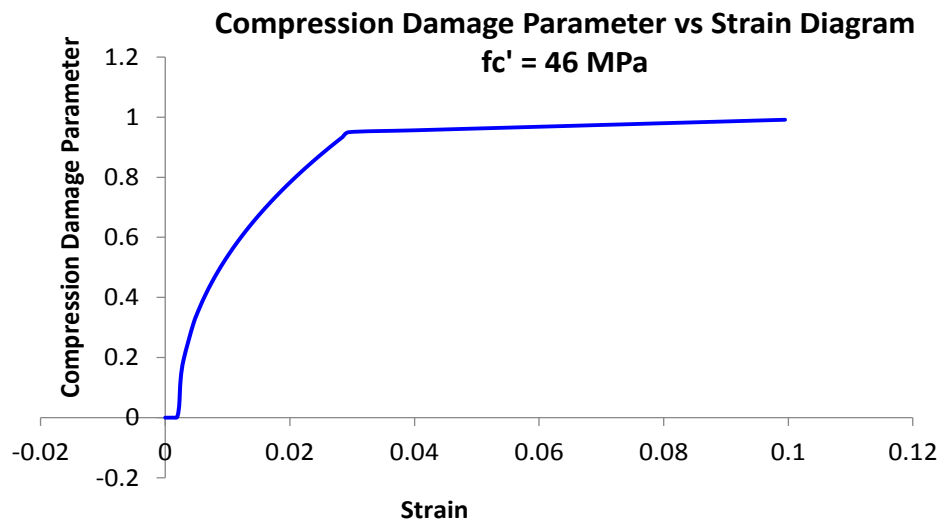
Tabel 5.2 *Inelastic Strain, Compression Stress dan Compression Damagae Beton*  
 $f_c' = 46.9$  MPa

No.	Point	Inelastic Strain	Compression Stress (MPa)	Compression Damage (dc)
1	A	0	0	0
2	B	0	18.4	0
3		0.0005	30.11	0
4		0.0007	35.35	0
5		0.0010	39.61	0
6		0.0012	42.82	0
7		0.0015	44.94	0
8	C	0.0018	46.00	0
9		0.0020	45.73	0.006
10	D	0.0022	44.28	0.037
11		0.0025	40.06	0.129
12		0.0030	36.99	0.196
13		0.0045	31.74	0.310
14		0.0055	29.26	0.364
15		0.0065	27.15	0.410
16		0.0075	25.28	0.450
17		0.0085	23.60	0.487
18		0.0095	22.05	0.521
19		0.0105	20.61	0.552
20		0.0115	19.26	0.581
21		0.0125	17.98	0.609
22		0.0135	16.77	0.635
23		0.0145	15.62	0.660
24		0.0155	14.52	0.684
25		0.0165	13.46	0.707
26		0.0175	12.44	0.730
27		0.0185	11.45	0.751
28		0.0195	10.50	0.772
29		0.0205	9.58	0.792
30		0.0215	8.69	0.811
31		0.0225	7.82	0.830
32		0.0235	6.97	0.848
33		0.0245	6.14	0.866
34		0.0255	5.34	0.884
35		0.0265	4.55	0.901
36		0.0275	3.79	0.918
37		0.0285	3.04	0.934
38	E	0.0295	2.30	0.950
39		0.0395	2.029	0.956
40		0.0495	1.757	0.962
41		0.0595	1.486	0.968
42		0.0695	1.214	0.974
43		0.0795	0.943	0.980
44		0.0895	0.671	0.985
45	F	0.0995	0.400	0.991
46				





Gambar 5.14 Interaksi antara *compression stress* dan *inelastic strain* untuk beton dengan  $f_c'' = 46.9 \text{ MPa}$



Gambar 5.15 Interaksi antara *compression damage parameter* dan *inelastic strain* untuk betaon dengan  $f_c'' = 46.9 \text{ MPa}$

Untuk parameter – parameter *tension behavior* yang dihitung adalah berupa parameter *cracking strain*, *tension stress* dan *tension damage* untuk beton dengan  $f_c'' = 49.2 \text{ MPa}$  dan untuk beton dengan  $f_c'' = 46.9 \text{ MPa}$ , ditunjukkan pada Tabel 5.3 dan Tabel 5.4.

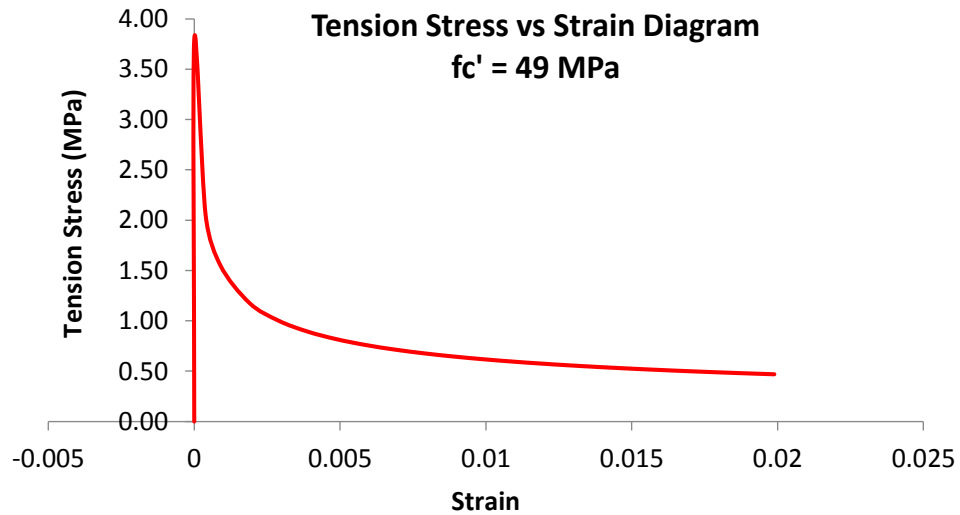
Ineraksi antara *cracking strain* dan *tension stress* untuk beton dengan  $f_c'' = 49$  MPa, dapat dilihat pada Gambar 5.16 sedangkan untuk beton dengan  $f_c'' = 46$  MPa ditunjukkan pada Gambar 5.17. Interaksi antara *cracking strain* dan *tension damage parameter* untuk beton dengan  $f_c'' = 49.2$  MPa dapat dilihat pada Gambar 5.18, sedangkan untuk beton dengan  $f_c'' = 46.9$  MPa dapat dilihat pada Gambar 5.19.

Tabel 5.3. *Cracking strain, tension stress dan tension damage* beton  $f_c'' = 49.2$  MPa

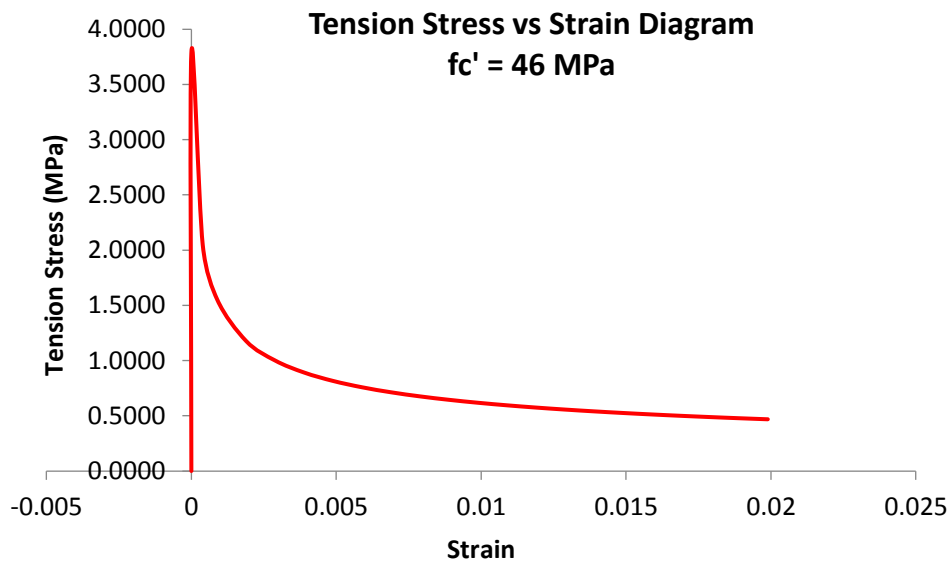
No.	Cracking Strain	Tension Stress	Tension Damage
		(MPa)	(dt)
1	0	0.0000	0.0000
2	0	3.9128	0.0000
3	0.0004	2.1061	0.4591
4	0.0009	1.5961	0.5901
5	0.0019	1.2096	0.6894
6	0.0029	1.0285	0.7359
7	0.0039	0.9167	0.7646
8	0.0049	0.8385	0.7847
9	0.0059	0.7795	0.7998
10	0.0069	0.7329	0.8118
11	0.0079	0.6948	0.8216
12	0.0089	0.6628	0.8298
13	0.0099	0.6354	0.8368
14	0.0109	0.6117	0.8429
15	0.0119	0.5907	0.8483
16	0.0129	0.5721	0.8531
17	0.0139	0.5554	0.8574
18	0.0149	0.5403	0.8612
19	0.0159	0.5265	0.8648
20	0.0169	0.5139	0.8680
21	0.0179	0.5023	0.8710
22	0.0189	0.4916	0.8738
23	0.0199	0.4816	0.8763

Tabel 5.4. *Cracking strain, tension stress dan tension damage* beton  $f_c'' = 46.9$  MPa

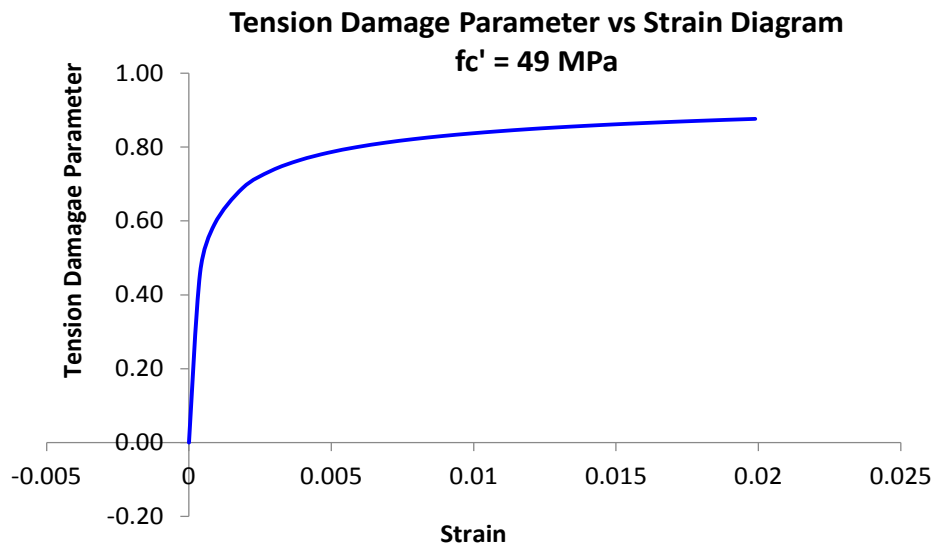
No.	Cracking Strain	Tension Stress	Tension Damage
		(MPa)	(dt)
1	0	0.0000	0.0000
2	0.0000	3.7845	0.0000
3	0.0004	2.0477	0.4589
4	0.0009	1.5518	0.5900
5	0.0019	1.1761	0.6892
6	0.0029	1.0000	0.7358
7	0.0039	0.8913	0.7645
8	0.0049	0.8152	0.7846
9	0.0059	0.7579	0.7998
10	0.0069	0.7125	0.8117
11	0.0079	0.6755	0.8215
12	0.0089	0.6444	0.8297
13	0.0099	0.6178	0.8368
14	0.0109	0.5947	0.8429
15	0.0119	0.5743	0.8482
16	0.0129	0.5562	0.8530
17	0.0139	0.5400	0.8573
18	0.0149	0.5253	0.8612
19	0.0159	0.5119	0.8647
20	0.0169	0.4997	0.8680
21	0.0179	0.4884	0.8710
22	0.0189	0.4779	0.8737
23	0.0199	0.4682	0.8763



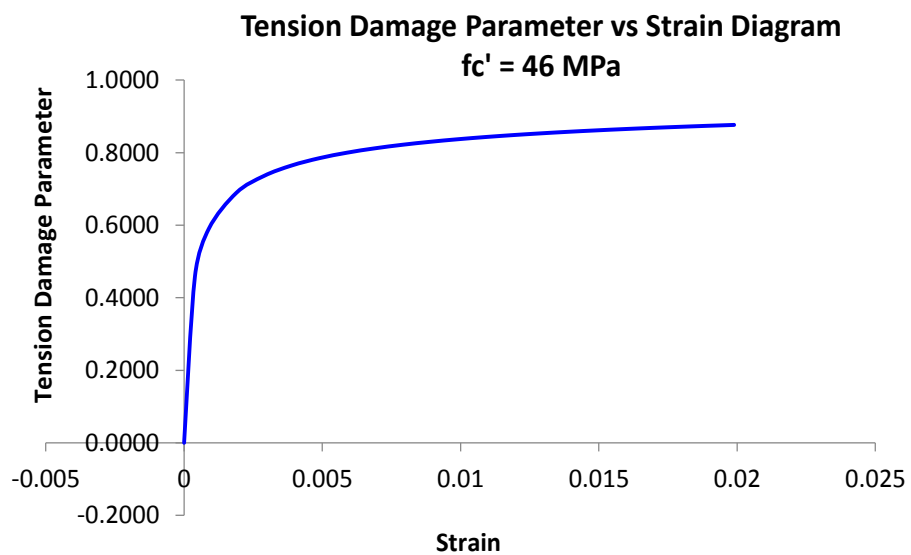
Gambar 5.16 Diagram Interaksi *tension stress vs cracking strain* beton  $f_c'' = 49.2 \text{ MPa}$



Gambar 5.17 Diagram Interaksi *tension stress vs cracking strain* beton  $f_c'' = 46.9 \text{ MPa}$



Gambar 5.18 Diagram Interaksi *tension damage* vs *cracking strain* beton  $f_c'' = 49.2 \text{ MPa}$

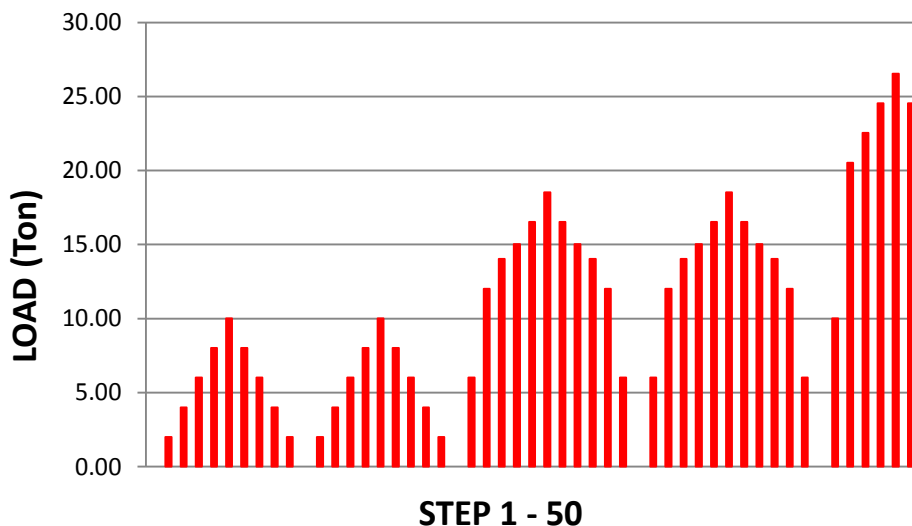


Gambar 5.19 Diagram Interaksi *tension damage* vs *cracking strain* beton  $f_c'' = 46.9 \text{ MPa}$

#### 5.1.4. Input Data Beban

Beban yang diberikan pada saat percobaan tidak semuanya bisa terbaca sesuai rencana pembebanan dengan 120 *step*. Hal ini kemungkinan akibat pemasangan strain gauge yang kurang sempurna. *Strain gauge* yang terbaca dalam percobaan sebagian bisa mencapai beban *step* ke 88, namun ada pula yang hanya terbaca sampai *step* yang ke 50. Sehingga untuk dapat membandingkan, maka data – data yang di atas *step* ke 50 tidak dievaluasi.

Dari pengamatan visual, bahwa retak pada benda uji terjadi antara *step* ke 23 sampai dengan *step* ke 25, maka pengamatan hasil percobaan sampai *step* yang ke 50 sudah dianggap cukup untuk mengevaluasi sampai kondisi benda uji mencapai plastis. Dengan demikian, perhitungan dengan menggunakan software berbasis elemen hingga dilakukan dengan tahapan nilai pembebanan yang sama dengan pembebanan pada percobaan dan dilakukan sampai pada pembebanan *step* ke 50 dengan model pembebanan seperti pada Gambar 5.20.



Gambar 5.20 Model pembebanan analisis *FEM*

#### 5.1.5. Input Data *Boundary Condition*

Data *boundary condition* yang diinputkan dalam program adalah untuk kondisi tumpuan benda uji. Sesuai dengan kondisi tumpuan yang digunakan dalam pengujian di laboratorium, dimana benda uji diletakkan diatas tumpuan

sederhana, sehingga dalam pemodelan, tumpuan dimodelkan sebagai sendi dan rol pada masing – masing arah sumbu horizontalnya.

#### 5.1.6. Input Data Interaksi Beton Lama dengan Beton Baru

Dalam memodelkan interaksi antara beton lama dan beton baru, khususnya pada model *half slab precast*, diasumsikan dapat berinteraksi secara sempurna. Hal ini karena setelah dihitung, bahwa antara beton lama (komponen pracetak) dengan beton baru (*overtopping*) tidak diperlukan *shear connector* dengan perhitungan sebagai berikut :

Lebar pelat pracetak ( $b_v$ ) = 70 cm

Panjang pelat pracetak ( $l_v$ ) = 200 cm

Tebal pelat pracetak ( $t_b$ ) = 12 cm

Tebal *overtopping* ( $t_t$ ) = 8 cm = 27.56 in

Diameter tulangan atas = 0.8 cm (5 buah) = 0.315 in

Diameter tulangan bawah = 10 mm (5 buah) = 0.394 in

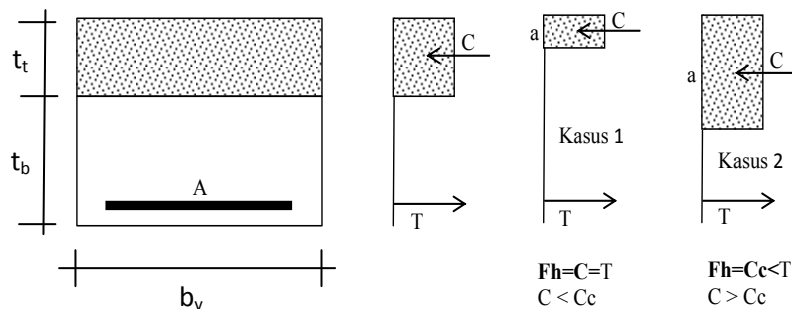
Luas tulangan atas ( $A_s''$ ) = 2.51 cm<sup>2</sup> = 0.3896 in<sup>2</sup>

Luas tulangan bawah ( $A_s$ ) = 3.92 cm<sup>2</sup> = 0.6087 in<sup>2</sup>

Tegangan leleh baja ( $f_y$ ) = 2400 kg/cm<sup>2</sup> = 34135.20 psi

Kuat tekan *overtopping* = 300 kg/cm<sup>2</sup> = 3555.75 psi

Penampang *overtopping* = 560 cm<sup>2</sup> = 86.80 in<sup>2</sup>



Gambar 5.21 Diagram tegangan penampang half slab precast

Gambar 5.21 menunjukkan diagram tegangan penampang half slab precast dengan dengan nilai – nilai perhitungan sebagai berikut :

$$C = 0.85 \times b_v \times t_t \times 300 + A_s'' \times 2400 = 125032 \text{ kg} = 275695.25 \text{ lb}$$

$$l_v = 200 \text{ cm} = 78.74 \text{ cm}$$

$$A_s \times f_y = 9425 \text{ kg} = 20781.64 \text{ lb}$$

$$0.75 \times 80 \times b_v \times l_v = 130200.00 \text{ lb} > 20781.64 \text{ lb}$$

(tidak perlu tulangan geser horizontal)

#### 5.1.7. Perhitungan Hasil Analisis *FEM*

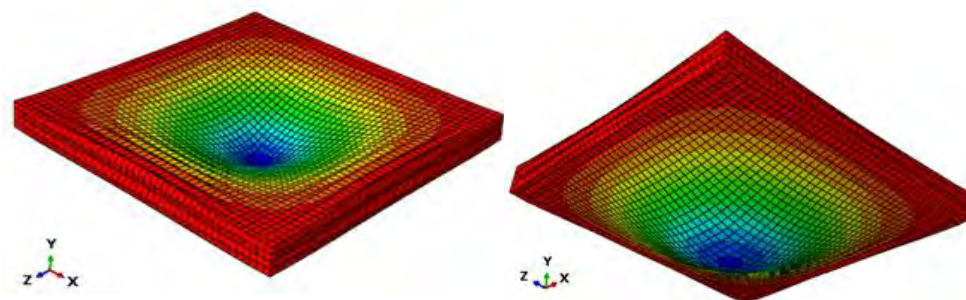
Setelah dilakukan analisis *FEM* dengan menggunakan software berbasis elemen hingga, maka dilakukan perhitungan terhadap hasil analisis yang terdiri dari :

1. Lendutan di tengah bentang
2. Regangan baja tulangan tarik
3. Regangan baja tulangan tekan.

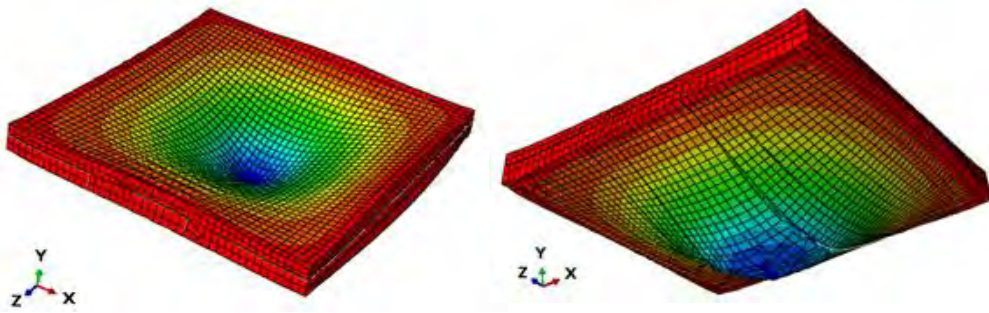
Untuk regangan pada beton akan diambil sama dengan regangan yang terpasang pada baja tulangan melalui bacaan dari *data logger*.

#### 5.1.8. Lendutan Hasil Analisis *FEM*

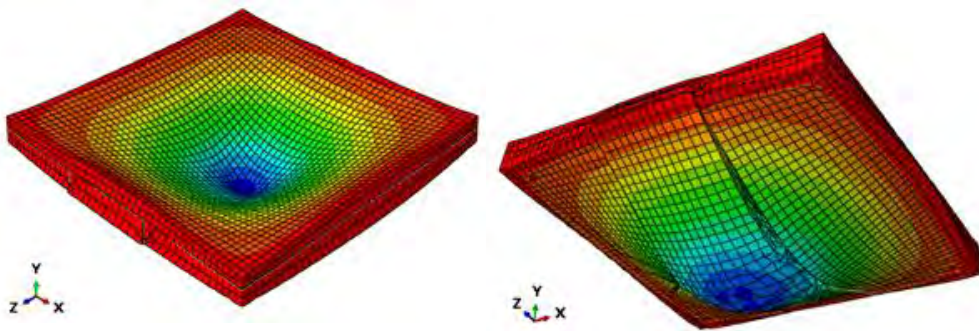
Lendutan untuk benda uji model-A, model-B dan model-C yang didapatkan dari analisis *FEM* berdasarkan pembebanan dari *Step* 1 sampai *Step* ke 50, bila lendutan tersebut digambarkan dengan skala ekstrim, dapat dilihat pada Gambar 5.22. sampai dengan Gambar 5.24.



Gambar 5.22 Lendutan benda uji model-A hasil analisis *FEM*

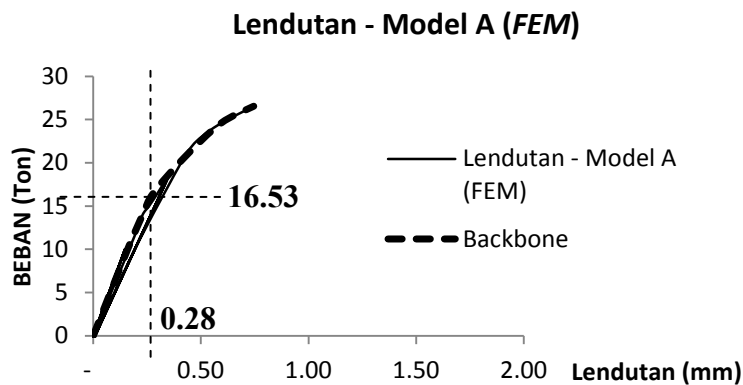


Gambar 5.23 Lendutan benda uji model-B hasil analisis *FEM*



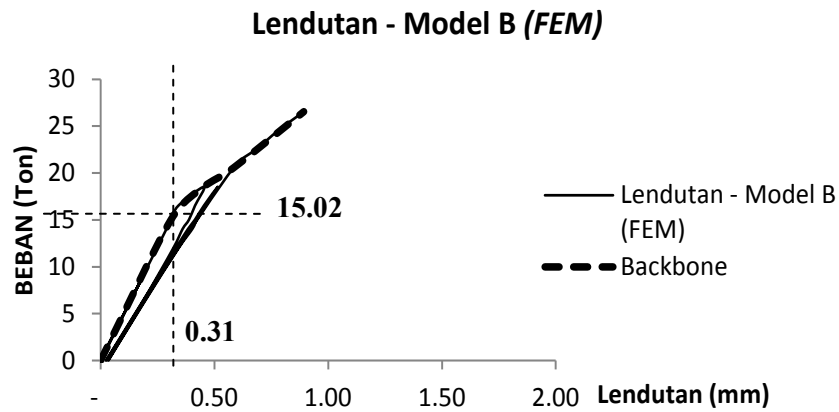
Gambar 5.24 Lendutan benda uji model-C hasil analisis *FEM*

Hasil lendutan bila digambarkan dalam bentuk grafik, ditunjukkan pada Gambar 5.25 sampai dengan Gambar 5.27. dari gambar – gambar tersebut terlihat bahwa beban retak awal yang terjadi mendekati sama dengan hasil percobaan. Hal ini ditandai dengan mulainya perubahan arah dari backbone grafik lendutan masing – masing benda uji. Sedangkan nilai lendutan secara rinci dapat dilihat pada Lampiran 5.

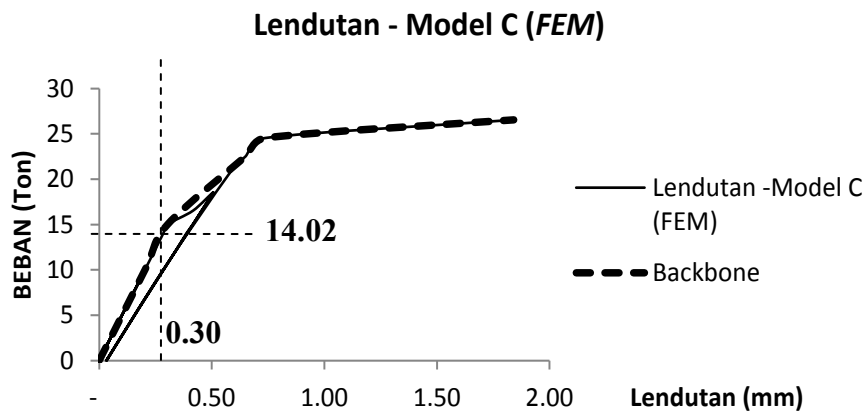


Gambar 5.25 Hubungan lendutan vs beban benda uji model-A hasil analisis *FEM*





Gambar 5.26 Hubungan lendutan vs beban benda uji model-B hasil analisis *FEM*



Gambar 5.27 Hubungan lendutan vs beban benda uji model-C hasil analisis *FEM*

Adapun kontrol terhadap Repeatability, Deviation Linearity dan Permanency dapat dilihat pada Tabel 5.5 sampai dengan 5.7.

Tabel 5.5 Kontrol *Repeatability*, *Deviation of Linearity* dan *Permanency* untuk Pelat Model-A Hasil Analisis *FEM*

BEBAN	$\Delta_1$	$\Delta_{\max 1}$	$\Delta_2$	$\Delta_{\max 2}$	<i>Repeatability</i>	<i>Dev.Linearity</i>	<i>Permanency</i>
					> 95%	<25%	<10%
P1=10.03	0.00	0.16	0.00	0.16	100.00	0.00	0.00
P1=18.53	0.01	0.35	0.01	0.35	100.00	0.00	0.00

Tabel 5.6 Kontrol *Repeatability*, *Deviation of Linearity* dan *Permanency* untuk Pelat Model-B Hasil Analisis FEM

BEBAN	$\Delta_1$	$\Delta_{\max 1}$	$\Delta_2$	$\Delta_{\max 2}$	<i>Repeatability</i>	<i>Dev.Linearity</i>	<i>Permanency</i>
					> 95%	<25%	<10%
P1=10.03	0.00	0.21	0.00	0.21	100.00	0.00	0.00
P1=18.53	0.02	0.48	0.03	0.51	95.83	5.88	2.04

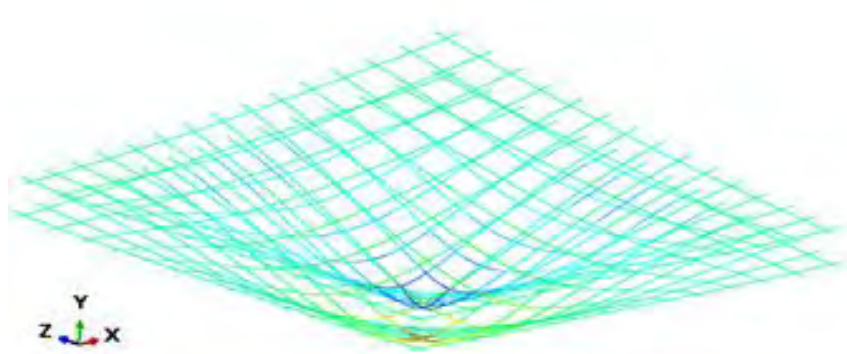
Tabel 5.7 Kontrol *Repeatability*, *Deviation of Linearity* dan *Permanency* untuk Pelat Model-C Hasil Analisis FEM

BEBAN	$\Delta_1$	$\Delta_{\max 1}$	$\Delta_2$	$\Delta_{\max 2}$	<i>Repeatability</i>	<i>Dev.Linearity</i>	<i>Permanency</i>
					> 95%	<25%	<10%
P1=10.03	0.00	0.20	0.00	0.20	100.00	0.00	0.00
P1=18.53	0.03	0.51	0.03	0.51	100.00	0.00	0.00

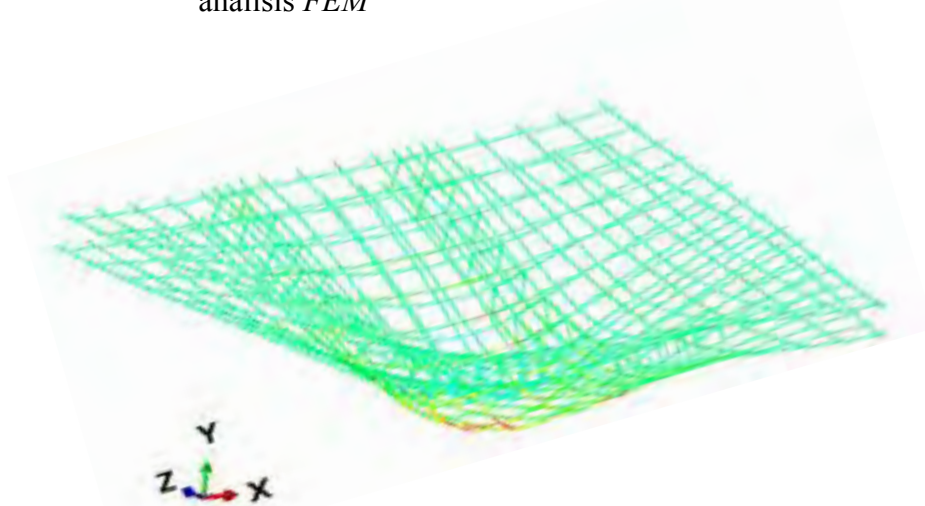
#### 5.1.9. Regangan Baja Tarik dan Tekan Hasil Analisis *FEM*

Pengamatan regangan dari baja tarik diarahkan pada posisi yang sama dengan posisi *strain gauge* yang terpasang yaitu *strain gauge* dengan notasi „BL“ untuk tulangan bawah lapis luar dan „BD“ untuk tulangan bawah lapis dalam. Sedangkan untuk baja tekan diarahkan pada posisi yang sama dengan posisi *strain gauge* terpasang dengan notasi „AL“ untuk tulangan bawah lapis luar dan „AD“ untuk tulangan bawah lapis dalam.

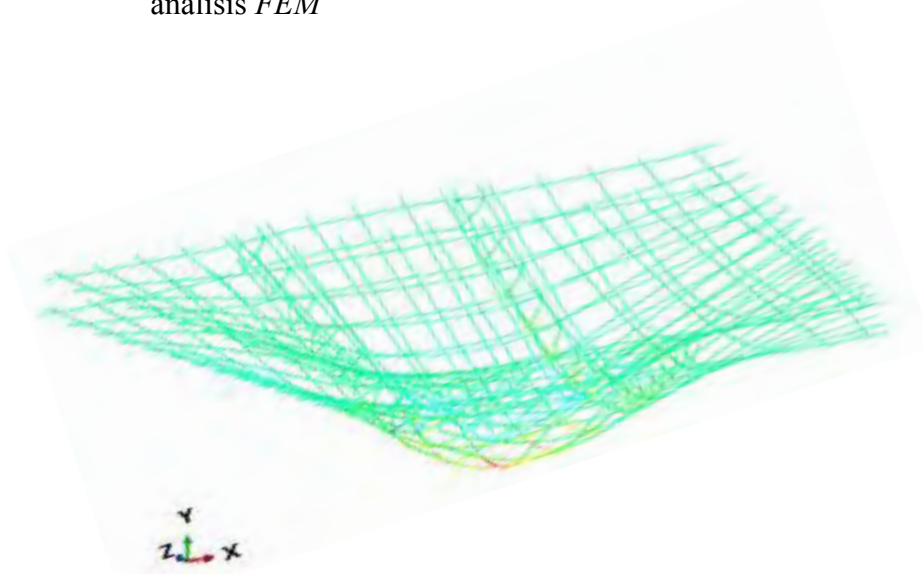
Distribusi regangan pada baja tulangan untuk model-A, model-B dan model-C yang didapatkan dari hasil analisis *FEM*, baik yang *regangan* tekan maupun tarik, dapat dilihat pada Gambar 5.28 sampai dengan Gambar 5.30. Secara rinci nilai regangannya dapat dilihat pada Lampiran 5.



Gambar 5.28 Distribusi regangan pada tulangn untuk benda uji model-A hasil analisis *FEM*



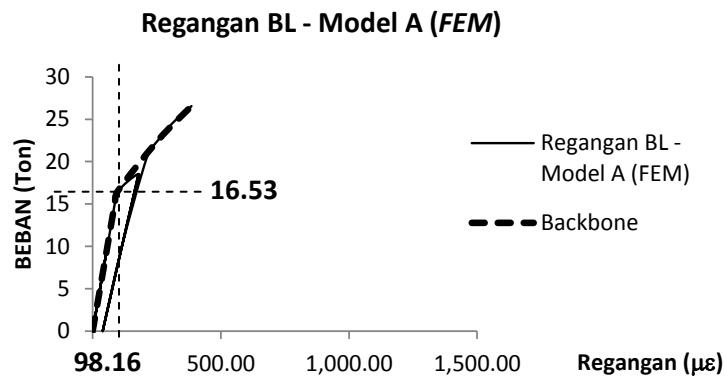
Gambar 5.29 Distribusi regangan pada tulangn untuk benda uji model-B hasil analisis *FEM*



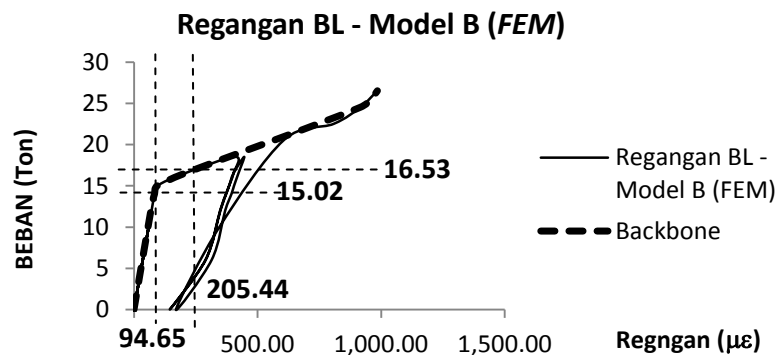
Gambar 5.30 Distribusi regangan pada tulangn untuk benda uji model-C Hasil analisis *FEM*

### 5.1.10. Regangan Tulangan Tarik

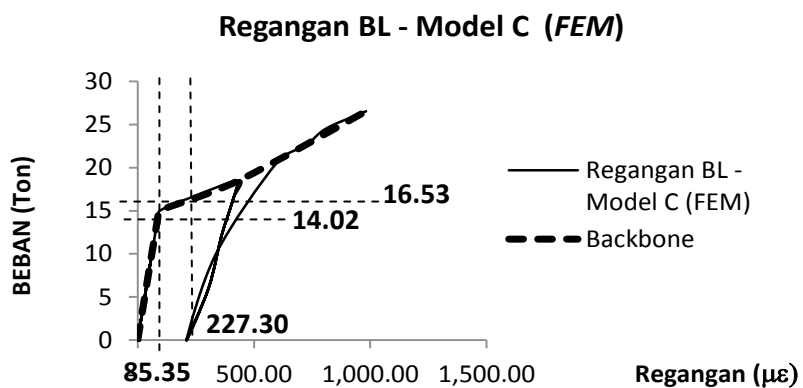
Nilai regangan baja tarik sisi luar (*Strain gauge* BL) bila digambarkan dalam bentuk grafik, maka dapat dilihat pada Gambar 5.31 sampai dengan Gambar 5.33..



Gambar 5.31 Regangan BL vs beban benda uji model-A hasil analisis *FEM*



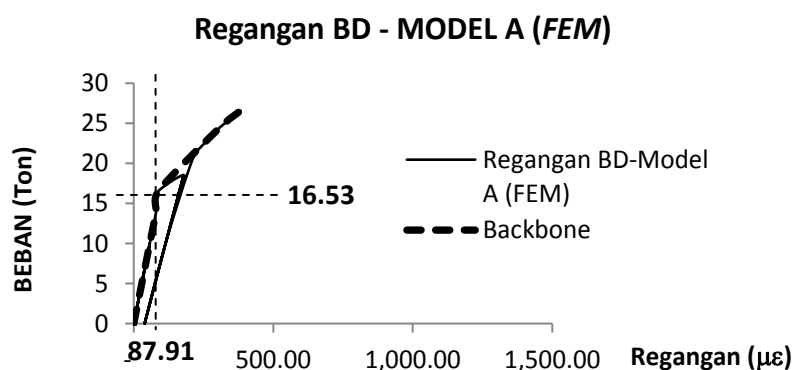
Gambar 5.32 Regangan BL vs beban benda uji model-B hasil analisis *FEM*



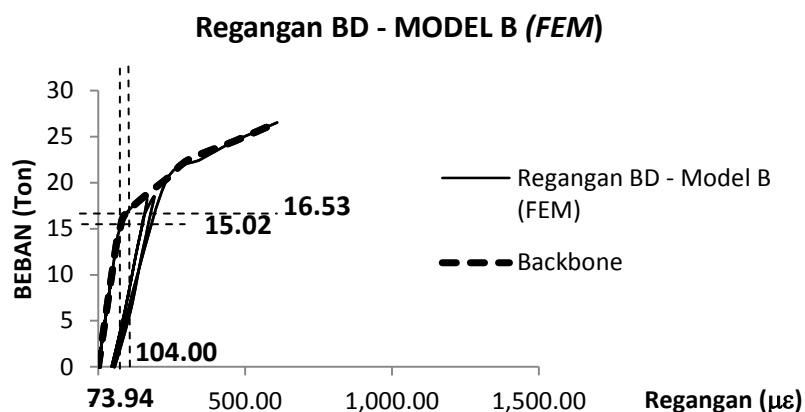
Gambar 5.33 Regangan BL vs beban benda uji model-C hasil analisis *FEM*

Dari Gambar 5.30 sampai dengan Gambar 5.32, terlihat bahwa seolah – olah regangan pada tulangan tarik lapis terluar (*Strain gauge* BL) yang terbesar terjadi pada model-A, padahal bila pada beban yang sama yaitu 16.53 ton, regangan pada *strain gauge* BL untuk model-B sudah mencapai 205.44  $\mu\epsilon$  dan pada model-C sudah mencapai 227.30  $\mu\epsilon$ .

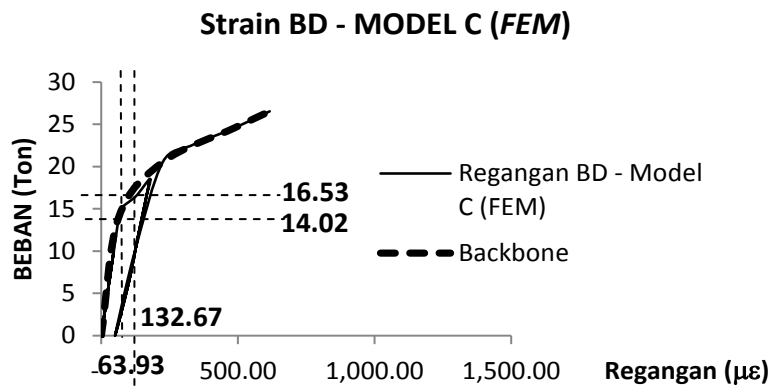
Regangan pada baja tulangan tarik lapis atas untuk model-A, model-B dan model-C yang didapatkan dari hasil analisis *FEM*, dapat dilihat pada Gambar 5.34 sampai dengan Gambar 5.36. Secara rinci nilai regangannya dapat dilihat pada Lampiran 5.



Gambar 5.34 Regangan BD vs beban benda uji model-A hasil analisis *FEM*



Gambar 5.35 Regangan BD vs beban benda uji model-B hasil analisis *FEM*

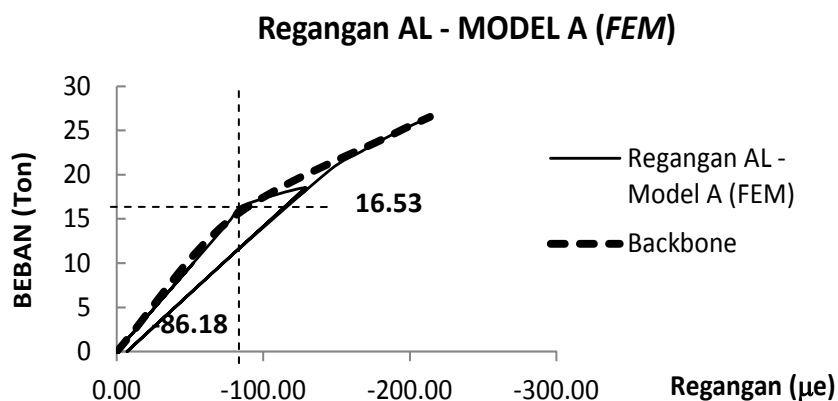


Gambar 5.36 Regangan BD vs beban benda uji model-C hasil analisis *FEM*

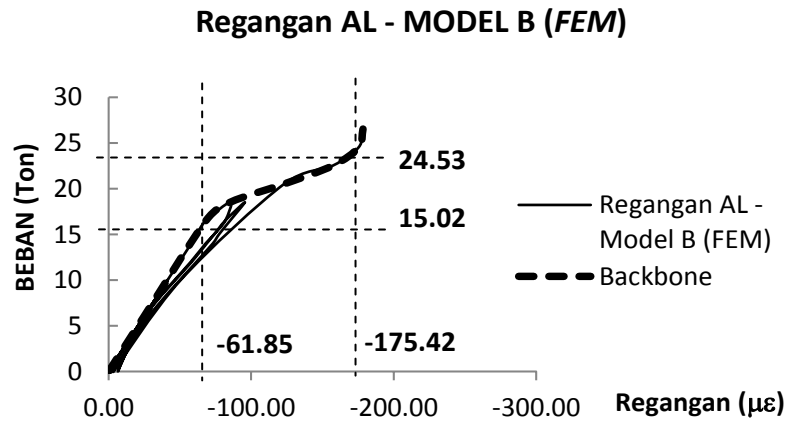
Bila beban pada model-B dan model-C disamakan dengan model-A (16.53 ton), maka regangan pada strain gauge BD untuk model-B sudah mencapai 104.00  $\mu\epsilon$  dan pada model-C sudah mencapai 132.67  $\mu\epsilon$ .

#### 5.1.11. Regangan Tulangan Tekan

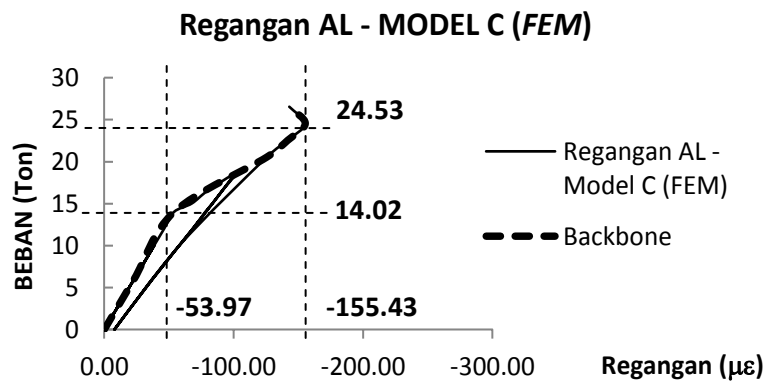
Untuk tulangan tekan yang dimonitor melalui *strain gauge* AL dan AD, regangannya dapat dilihat pada Gambar 5.37 sampai dengan Gambar 5.41..



Gambar 5.37 Regangan AL vs beban benda uji model-A hasil analisis *FEM*

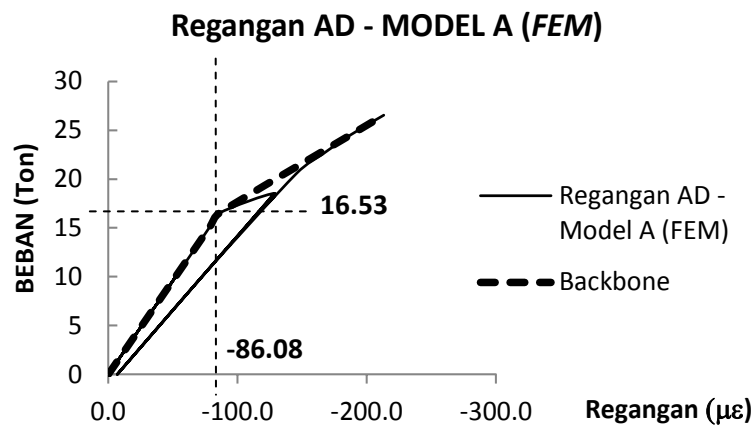


Gambar 5.38 Regangan AL vs beban benda uji model-B hasil analisis *FEM*

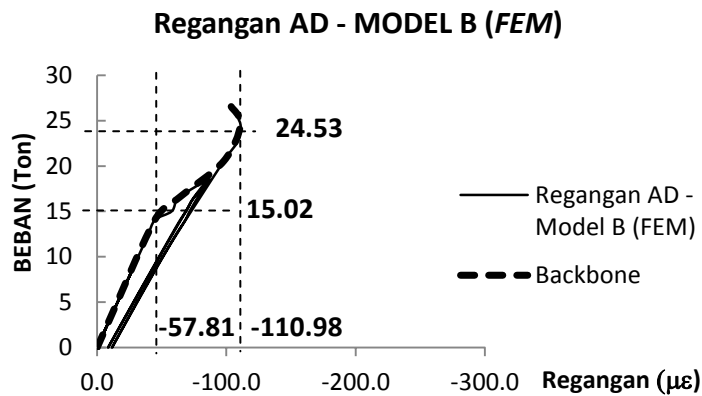


Gambar 5.39 Regangan AL vs beban benda uji model-C hasil analisis *FEM*

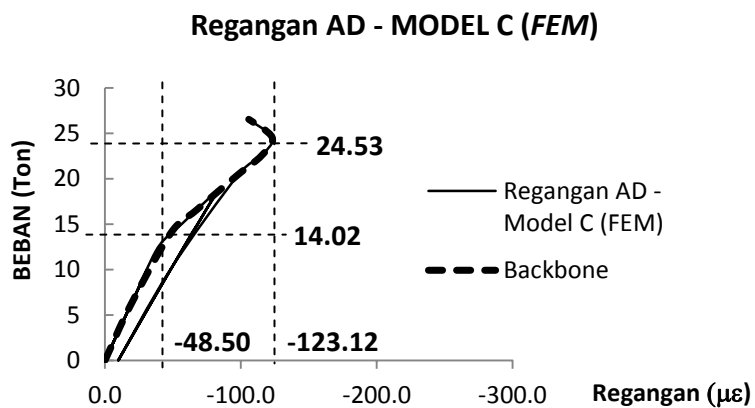
Gambar 5.36 sampai dengan Gambar 5.38 adalah *regangan* tulangan tekan lapis luar vs beban yang dimonitor melalui *strain gauge* AL. Sedangkan untuk tulangan tekan lapis dalam dapat dilihat pada Gambar 5.39 sampai dengan Gambar 5.42.



Gambar 5.40 Regangan AD vs beban benda uji model-A hasil analisis *FEM*



Gambar 5.41 Regangan AD vs beban benda uji model-B hasil analisis *FEM*



Gambar 5.42 Regangan AD vs beban benda uji model-C hasil analisis *FEM*



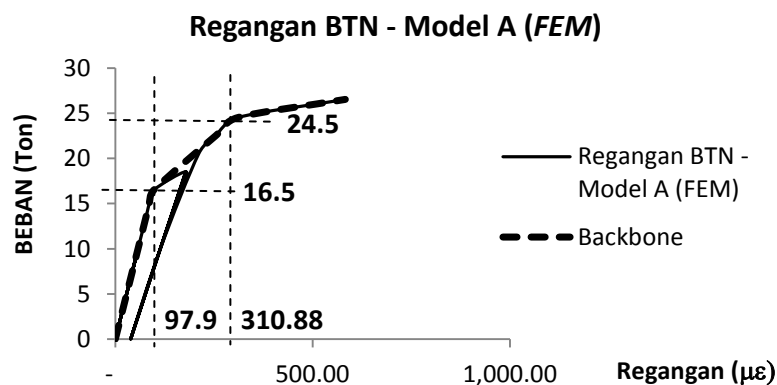
Gambar 5.37 sampai dengan Gambar 5.42 yang merupakan hasil analisis FEM menunjukkan bahwa pada saat retak awal nilai regangannya sudah mendekati sama dengan hasil eksperimental dan cenderung lebih kecil, baik untuk model-A, model-B maupun model-C.

Nilai backbone dari grafik regangan setelah retak akan mengalami kenaikan terus sampai pada suatu beban tertentu akan berubah arah dan cenderung mengecil seperti ditunjukkan pada grafik regangan tulangan tekan untuk model-B dan C (Gambar 5.38, Gambar 5.39, Gambar 5.44 dan Gambar 5.42). hal ini terjadi kemungkinan akibat keretakan yang membuat garis netral menjadi naik.

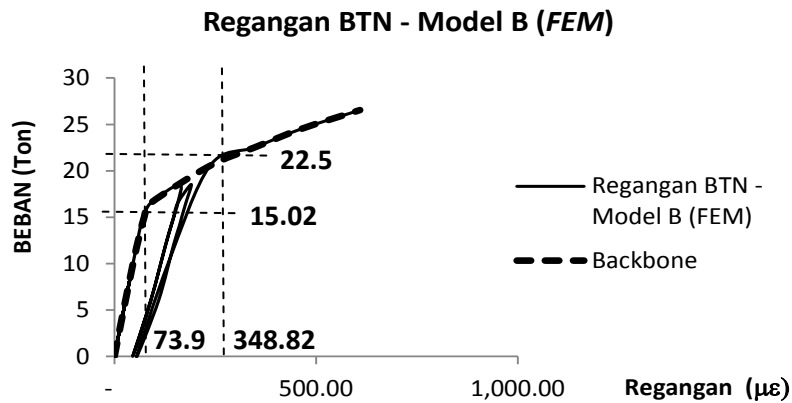
#### 5.1.12. Regangan Beton Sisi Bawah Hasil Analisis FEM

Pada saat percobaan di laboratorium dilakukan monitoring regangan yang terjadi di sisi bawah benda uji melalui *strain gauge* BTN. *Strain gauge* BTN dipasang di tengah bentang dengan arah sejajar strain gauge BD. Hasil monitoringnya dapat dilihat pada Gambar 5.43 sampai dengan Gambar 5.45. *Strain gauge* BTN dipasang pada posisi tengah bentang searah dengan strain gauge BD.

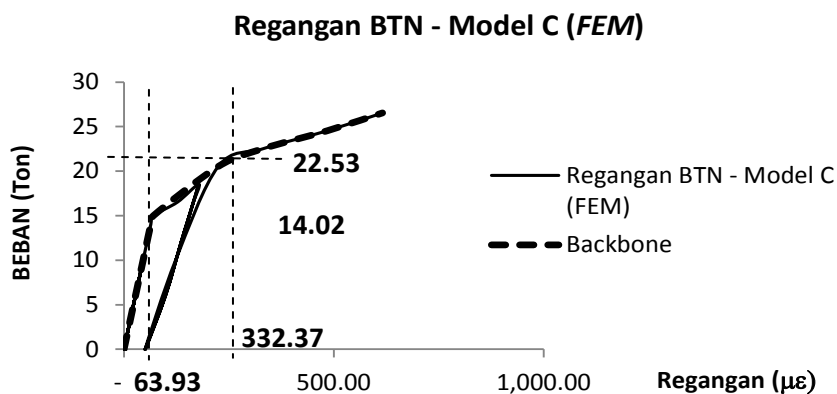
Kalau dilihat bentuk backbone nya mempunyai trend yang sama dengan strain gauge BD, dimana terjadi perubahan arah dua kali atau bisa disebut tri linier. Hal ini terjadi karena pada arah melintang atau tegak lurus garis sambungan antar komponen pracetak terdapat sambungan.



Gambar 5.43 Regangan BTN vs beban benda uji model-A hasil analisis FEM



Gambar 5.44 Regangan BTN vs beban benda uji model-B hasil analisis *FEM*



Gambar 5.45 Regangan BTN vs beban benda uji Model-C hasil analisis *FEM*

Perubahan arah grafik *backbone* pertama terjadi pada saat retak pertama di tengah bentang. Sedangkan perubahan arah yang kedua terjadi akibat retak yang terjadi pada sambungan antara komponen pracetak.

## 5.2. Perhitungan Analitis Pelat Beton Monolit Berdimensi 2 m x 2 m

Perhitungan analitis hanya dilakukan terhadap benda uji monolit atau model-A. Beban percobaan yang diberikan terhadap benda uji adalah beban pada saat benda uji sudah mulai mengalami retak awal yang disebut sebagai beban retak atau beban batas elastis, dimana sampai dengan beban tersebut, perhitungan analitis masih berlaku.

Pengujian eksperimental dilakukan terhadap benda uji dengan dimensi dan spesifikasi mutu setekah dilakukan pengujian material adalah sebagai berikut :

- Beton dengan mutu beton ( $f_c''$ ) diambil dari rata – rata dari hasil coredrill yaitu sebesar = 46 MPa.
- Baja dengan mutu ( $f_y$ ) diambil rata – rata dari hasil pengujian seperti ditunjukkan pada Lampiran 2, yaitu diambil sebesar = 384 MPa.

### 5.2.1. Perhitungan Analitis Beban Retak Pelat Beton Monolit Dua Arah Berdimensi 2 m x 2 m

Rudolph Szilard, (1974) memberikan penyelesaian praktis dengan menggunakan deret *fourier* untuk menghitung lendutan dan momen pada pelat dua arah seperti yang dijelaskan pada BAB II, Bagian 2.1.5, dimana beban retak yang bisa diterima oleh benda uji dapat dihitung sebagai berikut :

$$\text{Panjang (a)} = 2 \text{ m}$$

$$\text{Lebar (b)} = 2 \text{ m}$$

$$\text{Panjang area beban (c)} = 0.2 \text{ m}$$

$$\text{Lebar area beban (d)} = 0.2 \text{ m}$$

$$\text{Tebal (h)} = 0.2 \text{ m}$$

$$c/a = 0.1$$

$$d/a = 0.1$$

$$\text{Momen Inersia} = 0.7 \times [0.00133333]$$

$$= 0.000933 \text{ m}^4$$

$$f_c'' = 46 \text{ N/mm}^2 = 46000000 \text{ N/m}^2$$

$$E = 31876 \text{ N/mm}^2$$

$$f_r = 0.62 \cdot f_c''^{(0.5)} = 4.2050 \text{ N/mm}^2 = 4205000 \text{ N/m}^2$$

$$\text{Momen Retak (M}_{cr}) = I f_r / (h/2) = 39245 \text{ N-m}$$

$$M_{cr} = k c d p_o$$

Nilai k dapat diambil berdasarkan Tabel 2.5. Karena nilai  $c/a$  dan  $d/a = 0.1$ , maka nilai k diambil sebesar 0.29.

$$p_o = M_{cr} / (k \times c \times d)$$

$$p_o = 39245 / (0.29 \times 0.2 \times 0.2)$$

$$p_o = 3383190 \text{ N/m}^2 = 3.4 \text{ MPa}$$

Bila luas area beban adalah  $0.2 \times 0.2 \text{ m}^2$ , maka beban retak analitis yang bisa diterima oleh benda uji adalah sebesar :

$$P_{cr} = 0.2 \times 0.2 \times 3383190 = 135327 \text{ N} = \mathbf{13.53 \text{ ton.}}$$

Hasil pengamatan beban retak pada uji eksperimental untuk benda uji monolit atau model-A yang termonitor adalah sebesar **16.53 ton**.

### 5.2.2. Perhitungan Analitis Lendutan Pelat Beton Dua Arah Berdimensi 2 m x 2 m Akibat Beban Retak Uji (Percobaan)

Perhitungan lendutan dilakukan berdasarkan beban retak uji yang terjadi dengan menggunakan cara penyelesaian deret fourier seperti ditunjukkan Pada persamaan (2.16). dengan nilai – nilai variable sebagai berikut :

$$a = 2 \text{ m} \quad \xi = 1 \text{ m}$$

$$b = 2 \text{ m} \quad \eta = 1 \text{ m}$$

$$c = 0.2 \text{ m} \quad c/a = 0.1$$

$$d = 0.2 \text{ m} \quad d/a = 0.1$$

$$h = \text{tebal pelat} = 0.2 \text{ m}$$

$$p_o = 4.05 \text{ N/mm}^2 \text{ (beban retak uji)}$$

berdasarkan persamaan (2.16) tersebut, maka lendutan pelat dua arah dengan beban terpusat dengan area  $0.2 \times 0.2 \text{ m}^2$  dapat dihitung sebagai berikut :

$$w = \frac{16p_o}{D\pi^6} \sum_m \sum_n \frac{\sin \frac{m\pi\xi}{a} \sin \frac{n\pi\eta}{b} \sin \frac{m\pi c}{2a} \sin \frac{n\pi d}{2b}}{mn \left[ \frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} \right]^2} \times \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b}$$

atau,

$$w = \frac{16p_0}{D\pi^6} \times \sum_m \sum_n U$$

dimana,

$$E = 31876.00 \text{ MPa}$$

$$h = 200.00 \text{ mm}$$

$$\nu = 0.20$$

$$\xi = 1,000.00 \text{ mm}$$

$$\eta = 1,000.00 \text{ mm}$$

$$a = 2,000.00 \text{ mm}$$

$$b = 2,000.00 \text{ mm}$$

$$c = 200.00 \text{ mm}$$

$$d = 200.00 \text{ mm}$$

$$x = 1,000.00 \text{ mm}$$

$$y = 1,000.00 \text{ mm}$$

$$p_0 = 4.05 \text{ MPa}$$

$$D = Eh^3/12(1-\nu^2) = 31876.95 \times 200^3 / (12 (1-0.2^2)) = 22136771473$$

Nilai U dapat dihitung seperti ditunjukkan pada Tabel 5.8.

Tabel 5.8 Perhitungan Nilai U

m	n	$\sin(m\pi\xi/a)$	$\sin(n\pi\eta/b)$	$\sin(m\pi c/2a)$	$\sin(n\pi d/2a)$	$[mn \times ((m^2/a^2 + n^2/b^2)^2)]$	$\sin(m\pi x/a)$	$\sin(n\pi y/b)$	RESULT
1	1	1.00	1.00	0.16	0.16	0.000000000000025	1.00	1.00	9.7887E+10
1	2	1.00	0.00	0.16	1.00	0.000000000000313	1.00	0.00	7.5138E-22
2	1	0.00	1.00	0.31	1.00	0.000000000000313	0.00	1.00	1.4843E-21
2	2	0.00	0.00	0.31	0.06	0.00000000001600	0.00	0.00	2.7663E-55
1	3	1.00	(1.00)	0.16	0.83	0.00000000001875	1.00	(1.00)	6965553014
3	1	(1.00)	1.00	0.45	-	0.00000000001875	(1.00)	1.00	0
2	3	0.00	(1.00)	0.31	-	0.00000000006338	0.00	(1.00)	0
3	2	(1.00)	0.00	0.45	0.00	0.00000000006338	(1.00)	0.00	4.5474E-44
									<b>1.049E+11</b>

$$w = [(16 \times 4.05) / (22136771473 \times \pi^6)] \times 104852520423.19 = \mathbf{0.32 \text{ mm.}}$$

### 5.2.3. Perhitungan Analitis Regangan Pada Beton Sisi Bawah Pelat Berdimensi 2 m x 2 m

Perhitungan momen retak ( $M_{cr}$ ) dari hasil percobaan pada beban retak uji sebesar 16.53 Ton atau sebesar 4.05 MPa dengan luas area beban 200 mm x 200 mm, maka dengan menggunakan persamaan (2.7), didapatkan besarnya  $M_{cr}$  adalah 46980 N-m. sehingga besarnya regangan dan regangan pada beton dalam kondisi batas elastis akibat beban retak uji, dapat dihitung sebagai berikut :

$$M_{cr} = 46980 \text{ N-m}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen Inersia} &= 0.8 \times [0.00133333] \\ &= 0.001067 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{cr} &= [M_{cr} (\text{percobaan}) \times (h/2 - 0.03)] / \text{Momen Inersia} \\ &= [46980 \times 0.070] / 0.001067 = 3082099 \text{ N/m}^2 = 3.08 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\text{Regangan } (\epsilon) = 3.08 / 31876.95 = 0.00010352 = \mathbf{96.69 \mu\epsilon}$$

### 5.2.4. Perhitungan Analitis Regangan Tulangan Tarik Pelat Beton Berdimensi 2 m x 2 m

Pada daerah tulangan tarik di tengah bentang lapis luar, regangan yang terjadi akibat beban retak uji, adalah sebesar :

$$\begin{aligned} f_{\text{baja tarik}} &= [M_{cr} (\text{percobaan}) \times (h/2 - 0.03)] / \text{Momen Inersia} \\ &= [46980 \times 0.070 \times 200000 / 31876] / 0.001067 \\ &= 19338055 \text{ N/m}^2 = 19.34 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\text{Regangan } (\epsilon) = 19.34 / 200000 = 0.00009669 = \mathbf{96.69 \mu\epsilon}$$

Sedangkan regangan pada tulangan tarik di tengah bentang lapis dalam, regangan yang terjadi akibat beban retak uji, adalah sebesar :

$$\begin{aligned} f_{\text{baja tarik}} &= [M_{cr} (\text{percobaan}) \times (h/2 - 0.035)] / \text{Momen Inersia} \\ &= [46980 \times 0.065 \times 200000 / 31876] / 0.001067 \end{aligned}$$

$$= 17957329 \text{ N/m}^2 = 17.95 \text{ MPa}$$

$$\text{Regangan } (\epsilon) = 17.95/200000 = 0.00008978 = \mathbf{89.78 \mu\epsilon}$$

#### 5.2.5. Perhitungan Analitis Regangan Tulangan Tekan Pelat Beton Berdimensi 2 m x 2 m Akibat Beban Retak Uji (Percobaan)

Regangan pada tulangan tekan lapis luar berdiameter 8 mm akibat beban retak uji dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} f_{\text{baja tekan}} &= [-M_{cr} (\text{percobaan}) \times (h/2 - 0.029)] / \text{Momen Inersia} \\ &= [-46980 \times 0.071 \times 200000/31876] / 0.001067 \\ &= -19614313 \text{ N/m}^2 = -19.61 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\text{Regangan } (\epsilon) = -19.61/200000 = -0.0000980715 = \mathbf{98.07 \mu\epsilon}$$

Sedangkan regangan pada tulangan tekan di tengah bentang lapis dalam, regangan yang terjadi akibat beban retak uji, adalah sebesar :

$$\begin{aligned} f_{\text{baja tekan}} &= -[M_{cr} (\text{percobaan}) \times (h/2 - 0.034)] / \text{Momen Inersia} \\ &= -[46980 \times 0.066 \times 200000/31876] / 0.001067 \\ &= -18233595 \text{ N/m}^2 = -18.23 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\text{Regangan } (\epsilon) = -18.23/200000 = 0.00009115 = \mathbf{91.15 \mu\epsilon}$$

### 5.3. Pembahasan Hasil Percobaan Terhadap Hasil *FEM* dan Analitis

Dari hasil eksperimental, hasil analisis *FEM* dan hasil perhitungan analitis, maka terlihat bahwa hasil - hasil yang didapatkan untuk setiap obyek pengamatan, tidak menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan. Perbandingan hasil setiap obyek pengamatan diuraikan secara rinci sebagai berikut :

#### 5.3.1. Perbandingan Lendutan Hasil Percobaan Terhadap Hasil Analisis *FEM* dan Analitis

Lendutan hasil eksperimental untuk model-A terlihat lebih besar dari hasil analisis *FEM* maupun hasil perhitungan analitis bila dibebani beban retak hasil uji eksperimental. Hal ini menggambarkan bahwa untuk mencapai nilai lendutan yang sama, maka besarnya beban hasil analisis *FEM* dan analitis mempunyai nilai lebih kecil dari pada hasil percobaan. Kejadian semacam ini juga terbukti dari

perhitungan secara analitis untuk model-A yang menunjukkan bahwa nilai regangan dari hasil perhitungan analitis lebih kecil dibandingkan dengan hasil percobaan. Adapun perbandingan nilai lendutan hasil percobaan dan hasil eksperimental dapat dilihat pada Tabel 5.9.

Tabel 5.9 Perbedaan lendutan model A, B dan C pada kondisi retak awal terhadap hasil *FEM* dan analitis

JENIS PENGAMATAN	PERCOBAAN			TEORITIS	<i>FEM</i>		
	MODEL-A	MODEL-B	MODEL-C	MODEL-A	MODEL-A	MODEL-B	MODEL-C
	RETAK AWAL			RETAK AWAL	RETAK AWAL		
	A2	B2	C3				
LENDUTAN / DEFLECTION ( mm )	0.33	0.35	0.39	0.32	0.28	0.31	0.30

### 5.3.2. Perbandingan Regangan pada Baja Tulangan Tarik Hasil Percobaan terhadap Hasil *FEM* dan Analitis.

Regangan pada baja tulangan tarik lapis luar yang dimonitor melalui strain gauge BL, terlihat bahwa untuk setiap model yang sama, nilai regangan dari hasil eksperimental, *FEM* dan analitis pada saat terjadi retak awal, sudah mendekati sama, namun hasil analisis *FEM* dan analitis mempunyai nilai yang sedikit lebih kecil dibandingkan dengan hasil eksperimental. Hal ini dapat diartikan sama dengan regangan tulangan bawah lapis luar bahwa hasil eksperimental cenderung lebih aman dibandingkan dengan hasil analisis *FEM* maupun analitis. Perbandingan nilai regangan tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.10.

Tabel 5.10 Perbandingan nilai regangan baja tarik lapis luar antara hasil percobaan, perhitungan analitis dan *FEM*

JENIS PENGAMATAN	PERCOBAAN			TEORITIS	<i>FEM</i>		
	MODEL-A	MODEL-B	MODEL-C	MODEL-A	MODEL-A	MODEL-B	MODEL-C
	RETAK AWAL			RETAK AWAL	RETAK AWAL		
	16.53 ton	15.02 ton	14.02 ton				
	A3	B2	C3				
REGANGAN BAJA (BL) ( $\mu\epsilon$ )	94.00	86.02	81.00	96.69	98.16	94.65	85.35



Regangan pada baja tulangan tarik lapis dalam yang dimonitor melalui regangan gauge BD memperlihatkan bahwa untuk setiap model yang sama, nilai regangan dari hasil percobaan, *FEM* dan analitis yang sudah mendekati sama, namun hasil analisis *FEM* dan analitis mempunyai nilai yang sedikit lebih kecil dibandingkan dengan hasil percobaan. Hal ini dapat diartikan sama dengan regangan tarik baja lapis luar, dimana hasil percobaan cenderung lebih aman dibandingkan dengan hasil analisis *FEM* maupun analitis. Perbandingan nilai regangan tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.11.

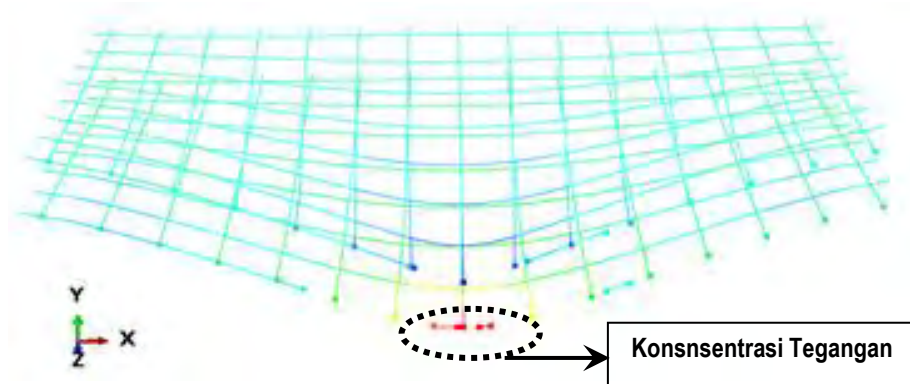
Tabel 5.11 Perbandingan nilai regangan baja tarik lapis dalam antara hasil percobaan, perhitungan analitis dan *FEM*

JENIS PENGAMATAN	PERCOBAAN			TEORITIS	<i>FEM</i>		
	MODEL-A	MODEL-B	MODEL-C	MODEL-A	MODEL-A	MODEL-B	MODEL-C
	RETAK AWAL			RETAK AWAL	RETAK AWAL		
	16.53 ton A2	15.02 ton B3	14.02 ton C2	16.53 ton	16.53 ton	15.02 ton	14.02 ton
REGANGAN BAJA (BD) ( $\mu\epsilon$ )	83.00	70.00	59.34	89.78	87.91	73.94	63.93

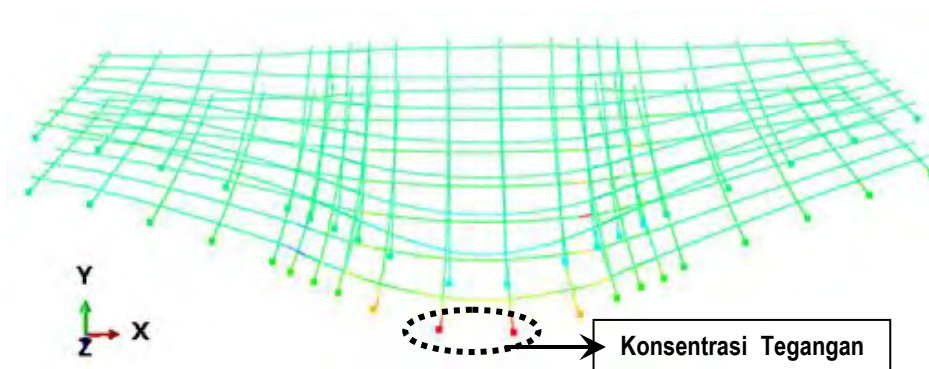
Dari hasil nilai regangan yang terdapat pada Tabel 5.11, menunjukkan bahwa regangan yang terjadi pada model B dan C yang dimonitor melalui *strain gauge* BD saat mengalami retak awal, mempunyai nilai regangan lebih rendah dibandingkan dengan model A. Hal ini akibat *strain gauge* BD dipasang pada arah tegak lurus dari garis sambungan antar komponen pracetak. Sehingga dengan membukanya sambungan tersebut menyebabkan berkurangnya nilai *regangan* yang terjadi pada baja tulangan di tengah bentang. Regangan tulangan tarik pada arah tegak lurus sambungan antar komponen pracetak untuk model B dan C juga menunjukkan nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan tulangan tarik pada arah sejajar dengan garis sambungan antar komponen pracetak. Hal ini karena kondisi pelat uji pada arah sejajar dengan garis sambungan, tidak terdapat sambungn.

Dari Hasil analisis *FEM* terlihat bahwa tegangan baja tulangan tarik terbesar yang terjadi adalah pada daerah sekitar retak. Pada saat uji *exsperimental*, beban yang diberikan adalah beban area terpusat *loading – percobaan* di tengah bentang sehingga konsentrasi tegangan juga berada di tengah bentang. Hal ini sudah sesuai dengan hasil pengamatan saat uji eksperimentaal bahwa retak awal

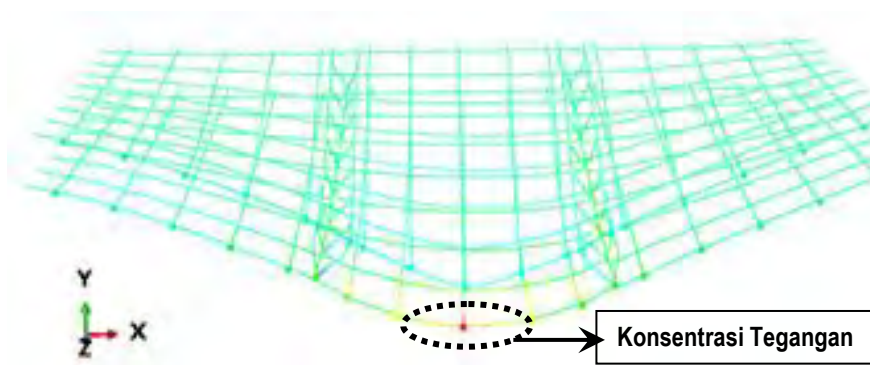
terjadi di tengah bentang. Konsentrasi tegangan tersebut juga ditunjukkan pada hasil analisis *FEM* yang ditandai dengan warna merah pada Gambar 5.46 sampai dengan Gambar 5.48 yang kesemua posisinya berada di tengah bentang. Hal ini terjadi baik pada model-A, model-B maupun model-C.



Gambar 5.46 Posisi konsentrasi tegangan pada baja tulangan tarik untuk pelat model-A akibat beban terpusat hasil analisis *FEM*



Gambar 5.47 Posisi konsentrasi tegangan pada baja tulangan tarik untuk pelat model-B akibat beban terpusat hasil analisis *FEM*



Gambar 5.48 Posisi konsentrasi tegangan pada baja tulangan tarik untuk pelat model-C akibat beban terpusat hasil analisis *FEM*

### 5.3.3. Perbandingan Regangan pada Baja Tulangan Tekan Hasil Percobaan Terhadap Hasil Analisis *FEM* dan Analitis

Regangan pada baja tulangan tekan lapis luar yang dimonitor melalui *strain gauge* AL memperlihatkan bahwa untuk setiap model yang sama juga mempunyai nilai regangan dari hasil *percobaan*, *FEM* dan analitis yang sudah mendekati sama dan menunjukkan trend yang mirip sama. Hasil analisis *FEM* dan analitisnya juga mempunyai nilai yang sedikit lebih kecil dibandingkan dengan hasil eksperimental. Hal ini dapat diartikan pula bahwa hasil eksperimental cenderung lebih aman dibandingkan dengan hasil analisis *FEM* maupun analitis, dimana perbandingannya dapat dilihat pada Tabel 5.12.

Tabel 5.12 Perbandingan nilai regangan baja tekan lapis luar antara hasil percobaan, perhitungan analitis dan *FEM*

JENIS PENGAMATAN	PERCOBAAN			TEORITIS	<i>FEM</i>		
	MODEL-A	MODEL-B	MODEL-C	MODEL-A	MODEL-A	MODEL-B	MODEL-C
	RETAK AWAL			RETAK AWAL	RETAK AWAL		
	16.53 ton	15.02 ton	14.02 ton	16.53 ton	16.53 ton	15.02 ton	14.02 ton
	A2	B2	C3				
REGANGAN BAJA (AL) ( $\mu\epsilon$ )	-72.73	-60.50	-52.62	-8.07	-86.18	-61.85	-53.97

Regangan tekan pada baja tulangan tekan ini akan terjadi setelah beton mengalami keretakan, sehingga menyebabkan garis netral akan berpindah tempat semakin naik ke atas. Bila beban dinaikkan terus maka penurunan regangan tekan akan semakin besar. Kondisi seperti juga ditunjukkan pada analisis *FEM*.

Regangan pada baja tulangan tekan lapis dalam yang dimonitor melalui *strain gauge* AD, menunjukkan bahwa untuk setiap model yang sama juga mempunyai nilai regangan dari hasil eksperimental, *FEM* dan analitis yang sudah mendekati sama dan menunjukkan trend yang mirip sama. kondisinya hampir sama dengan tulangan tekan lapis luar, hanya saja nilainya lebih kecil. Hal ini karena posisi tulangan lapis dalam sedikit lebih mendekati garis netral. Perbandingan nilai regangan tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.13.

Tabel 5.13 Perbandingan nilai regangan baja tekan lapis dalam antara hasil percobaan, perhitungan analitis dan FEM

JENIS PENGAMATAN	PERCOBAAN			TEORITIS	NUMERIK		
	MODEL-A	MODEL-B	MODEL-C	MODEL-A	MODEL-A	MODEL-B	MODEL-C
	RETAK AWAL			RETAK AWAL	RETAK AWAL		
	16.53 ton A2	15.02 ton B2	14.02 ton C3	16.53 ton	16.53 ton	15.02 ton	14.02 ton
REGANGAN BAJA (AD) ( $\mu\epsilon$ )	-82.70	-57.00	-42.00	-91.15	-86.08	-57.81	-48.50

#### 5.3.4. Perbandingan Regangan pada Beton Sisi Bawah (BTN) Hasil Percobaan Terhadap Hasil Analisis *FEM* dan Analitis

Regangan pada beton sisi bawah yang dimonitor melalui regangan gauge BTN, menunjukkan bahwa regangan beton di tengah bentang untuk benda uji model-B dan model-C mempunyai nilai lebih kecil dari pada regangan di tengah bentang untuk benda uji model-A. Hal ini terjadi karena regangan gauge dipasang tegak lurus terhadap garis sambungan antar komponen pracetak, sehingga akibat terjadi retak pada sambungan antar komponem pracetak, menyebabkan regangan beton di tengah bentang menjadi berkurang. Perbandingan nilai regangan tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.14.

Tabel 5.14 Perbandingan antara regangan beton sisi bawah dari hasil percobaan perhitungan analitis dan *FEM*

JENIS PENGAMATAN	PERCOBAAN			TEORITIS	<i>FEM</i>		
	MODEL-A	MODEL-B	MODEL-C	MODEL-A	MODEL-A	MODEL-B	MODEL-C
	RETAK AWAL			RETAK AWAL	RETAK AWAL		
	16.53 ton A2	15.02 ton B2	14.02 ton C2	16.53 ton	16.53 ton	15.02 ton	14.02 ton
REGANGAN BETON (BTN) ( $\mu\epsilon$ )	94.82	68.72	59.38	96.69	97.91	73.94	63.93

#### 5.4. Perhitungan Analitis Benda Uji untuk Pembebanan Merata Monotonik

Analisis *FEM* juga dicobakan untuk pelat beton yang dimensinya 2 m x 2 m dengan ketebalan 20 cm dengan mutu material beton variasi-1, yaitu yang mempunyai  $f_c'' = 46.9$  MPa. Analisis yang dilakukan adalah untuk perhitungan beban retak, perhitungan lendutan, perhitungan regangan pada beton sisi bawah di tengah bentang, perhitungan regangan pada tulangan tarik dan perhitungan regangan pada tulangan tekan.

### Perhitungan Beban Retak

Pelat yang benda uji yang dianalisis mempunyai dimensi dan parameter sebagai berikut :

$$\text{Panjang (a)} = 2 \text{ m}$$

$$\text{Lebar (b)} = 2 \text{ m}$$

$$\text{Tebal (h)} = 0.2 \text{ m}$$

$$b/a = 1$$

$$\text{Momen Inersia} = 0.3 \times [0.00133333] = 0.0009331 \text{ m}^4$$

$$f_c'' = 46 \text{ N/mm}^2 = 46000000 \text{ N/m}^2$$

$$E = 31876 \text{ N/mm}^2$$

$$f_r = 0.62 \cdot f_c^{(0.5)} = 4.2050 \text{ N/mm}^2 = 4205000 \text{ N/m}^2$$

$$\text{Momen Retak (M}_{cr}) = I f_r / (h/2) = 39236 \text{ N-m}$$

Secara teoritis besarnya momen retak dapat dihitung dengan persamaan (5.1).

$$M_{cr} = c_2 p_0 a^2 \dots\dots\dots \text{pers (5.1)}$$

Nilai  $c_2$  dapat diambil berdasarkan Tabel 5.15. Karena nilai  $b/a = 1$ , maka nilai  $c_2$  diambil sebesar 0.0479

$$p_0 = M_{cr} / (c_2 \times a^2)$$

$$p_0 = 39236 / (0.0479 \times 2^2)$$

$$p_0 = 204780 \text{ N/m}^2 = \mathbf{0.205MPa}$$

$p_0$  merupakan prediksi beban retak yang bekerja merata di seluruh permukaan.

Tabel 5.15 Nilai  $c_2$  (Rudolph Szilard - 1974)

<b>b/a</b>	<b>c<sub>1</sub></b>	<b>c<sub>2</sub></b>	<b>c<sub>3</sub></b>
1.0	0.0443	0.0479	0.0479
1.1	0.0530	0.0553	0.0494
1.2	0.0616	0.0626	0.0501
1.3	0.0697	0.0693	0.0504

### Perhitungan Lendutan

Persamaan lendutan yang digunakan adalah dengan menggunakan persamaan 5.2, yaitu :

$$w = \frac{16p_0}{D\pi^6} \sum_m \sum_n \frac{\sin(m\pi x/a) \sin(n\pi y/b)}{mn (m^2/a^2 + n^2/b^2)^2} \quad \dots\dots\dots \text{pers (5.2)}$$

atau,

$$w = \frac{16p_0}{D\pi^6} \sum_m \sum_n V$$

dimana,

$$E = 31876.00 \text{ MPa}$$

$$h = 200.00 \text{ mm}$$

$$\nu = 0.20$$

$$a = 2,000.00 \text{ mm}$$

$$b = 2,000.00 \text{ mm}$$

$$p_0 = 0.214 \text{ MPa}$$

$$D = Eh^3/12(1-\nu^2) = 31876.95 \times 200^3 / (12 (1-0.2^2)) = 22136770833$$

Nilai V dapat dihitung seperti ditunjukkan pada Tabel 5.16.

Tabel 5.16 Nilai V pada persamaan 6.4 untuk pelat benda uji

m	n	sin(m $\pi$ x/a)	sin(n $\pi$ y/b)	[mn x ((m <sup>2</sup> /a <sup>2</sup> + n <sup>2</sup> /b <sup>2</sup> ) <sup>2</sup> )]	RESULT
1	1	1.00	1.00	2.5E-13	4E+12
1	2	1.00	0.00	3.125E-12	3.92048E-05
2	1	0.00	1.00	3.125E-12	3.92048E-05
2	2	0.00	0.00	1.6E-11	9.38118E-22
1	3	1.00	-1.00	1.875E-11	-53333333333
3	1	-1.00	1.00	1.875E-11	-53333333333
2	3	0.00	-1.00	6.3375E-11	-1.93317E-06
3	2	-1.00	0.00	6.3375E-11	-1.93317E-06
					<b>3.89333E+12</b>

Sehingga lendutan pada saat retak adalah s

$$w = \frac{16p_0}{D\pi^6} \sum_m \sum_n V = [16 \times 0.214 / (22136770833 \times \pi^6 \times 3.8933E12) = \underline{\underline{0.62}} \text{ mm.}$$

### **Perhitungan regangan pada beton sisi bawah**

Perhitungan momen retak ( $M_{cr}$ ) dari hasil perhitungan analitis pada beban retak sebesar 0.205 MPa dengan luas area seluruh permukaan pelat, maka dengan menggunakan persamaan 5.1, didapatkan besarnya  $M_{cr}$  adalah 39236 N-m. sehingga besarnya regangan dan regangan pada beton dalam kondisi batas elastis akibat beban retak uji, dapat dihitung sebagai berikut :

$$M_{cr} = 39236 \text{ N-m}$$

$$\text{Momen Inersia} = 0.0009331 \text{ m}^4$$

$$\begin{aligned} f_{cr} (\text{Analitis}) &= [M_{cr} (\text{Analitis}) \times (h/2-0.03)] / \text{Momen Inersia} \\ &= [39236 \times 0.07] / 0.0009331 \\ &= 2943435 \text{ N/m}^2 = 2.94 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\text{Regangan } (\epsilon) = 2.94/31876.95 = 0.00009234 = \mathbf{92.34 \mu\epsilon}$$

### **Perhitungan Regangan Tulangan Tarik**

Pada daerah tulangan tarik di tengah bentang sisi luar, regangan yang terjadi akibat beban retak uji, adalah sebesar :

$$\begin{aligned} f_{baja} (\text{Analitis}) &= [M_{cr} (\text{Analitis}) \times (h/2-0.03)] / \text{Momen Inersia} \\ &= [39236 \times 0.07 \times 200000/31876] / 0.0009331 \\ &= 18470017 \text{ N/m}^2 = 18.47 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\text{Regangan } (\epsilon) = 18.47/200000 = 0.00009235 = \mathbf{92.35 \mu\epsilon}$$

Sedangkan regangan pada tulangan tarik di tengah bentang sisi dalam, regangan yang terjadi akibat beban retak uji, adalah sebesar :

$$\begin{aligned} f_{baja} (\text{Analitis}) &= [M_{cr} (\text{Analitis}) \times (h/2-0.035)] / \text{Momen Inersia} \\ &= [39236 \times 0.065 \times 200000/31876] / 0.0009331 \\ &= 17150730 \text{ N/mm}^2 = 17.15 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\text{Regangan } (\epsilon) = 17.15/200000 = 0.00008575 = \mathbf{85.75 \mu\epsilon}$$

### Perhitungan Regangan Tulangan Tekan

Regangan pada tulangan tekan sisi luar berdiameter 8 mm akibat beban retak uji dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}f_{baja} \text{ (Analitis)} &= - [M_{cr} \text{ (Analitis)} \times (h/2 - 0.029)] / \text{Momen Inersia} \\&= - [39236 \times 0.071 \times 200000 / 31876] / 0.0009331 \\&= -18733874 \text{ N/m}^2 = -18.73 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\text{Regangan } (\epsilon) = -18.73 / 200000 = 0.00009365 = -93.65 \mu\epsilon$$

Sedangkan regangan pada tulangan tekan di tengah bentang sisi dalam, regangan yang terjadi akibat beban retak uji, adalah sebesar :

$$\begin{aligned}f_{baja} \text{ (Analitis)} &= - [M_{cr} \text{ (Analitis)} \times (h/2 - 0.034)] / \text{Momen Inersia} \\&= - [39236 \times 0.066 \times 200000 / 31876] / 0.0009331 \\&= -17414587 \text{ N/m}^2 = -17.41 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\text{Regangan } (\epsilon) = -17.41 / 200000 = 0.00008705 = -87.5 \mu\epsilon$$

### **5.5. Analisis FEM Benda Uji untuk Pembebanan Merata Monotonik**

Analisis FEM untuk benda uji model A, B dan C terhadap pembebanan merata bertujuan untuk mengetahui apakah perbandingan perilaku antara model A, B dan C masih menunjukkan trend yang sama dengan pembebanan *loading – percobaan* ?

Beban merata monotonik ini diberikan terhadap model A, B dan C sesuai dengan variasi mutu beton seperti ditunjukkan pada Tabel 5.17.

Tabel 5.17 Variasi mutu material untuk analisis FEM

VARIASI MATERIAL	KOMPONEN	MUTU BETON (Mpa)	
		Monolit	Half Slab
Variasi-1	Monolit	46.9	
	Overtopping		46.9
	Pracetak		49.2
Variasi-2	Monolit	24.9	
	Overtopping		24.9
	Pracetak		24.9
Variasi-3	Monolit	24.9	
	Overtopping		24.9
	Pracetak		33.2



### 5.5.1. Analisis *FEM* Pelat Uji untuk Pembebanan Merata Monotonik dengan Mutu Material Variasi-1

Setelah dilakukan perhitungan analitis terhadap benda uji monolit (model-A) dengan material variasi-1 untuk pembebanan merata, maka diketahui bahwa, beban retak yang mungkin terjadi adalah sebesar 0.214 MPa. Beban tersebut digunakan untuk analisis *FEM* dengan membagi beberapa step pembebanan ditambah lagi dengan beban hingga mencapai kondisi plastis. Step beban merata monotonik yang diberikan adalah :

Step 1 = 0.05 Mpa

Step 2 = 0.10 Mpa

Step 3 = 0.15 Mpa

Step 4 = 0.20 Mpa

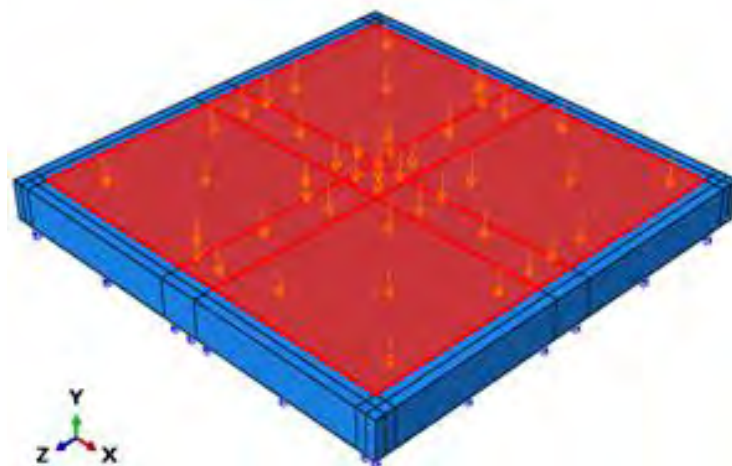
Step 5 = 0.25 Mpa

Step 6 = 0.30 Mpa

Step 7 = 0.35 Mpa

Step 8 = 0.40 Mpa

Adapun model pembebanan merata monotonik yang diberikan pada pelat 2m x 2m dapat dilihat pada Gambar 5.49.

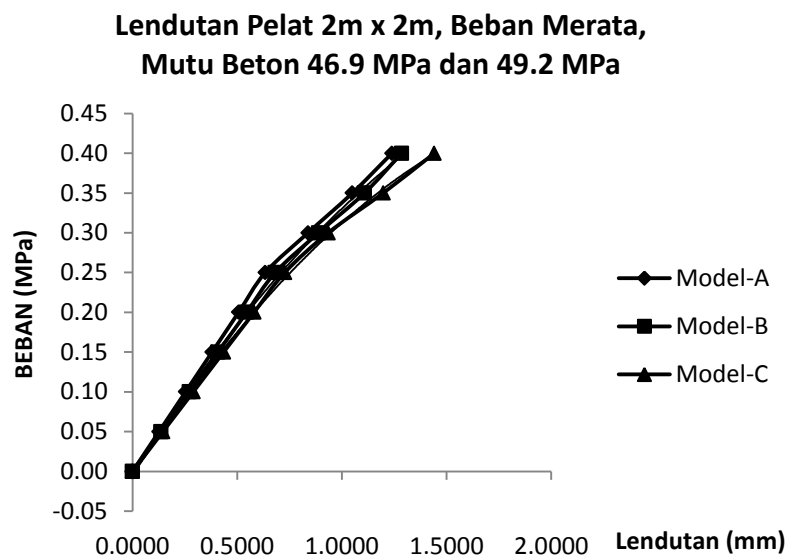


Gambar 5.49 Model pembebanan merata monotonik untuk benda uji 2m x 2m model A, B dan C

Hasil lendutan yang didapat dari analisis *FEM* untuk model pelat benda uji akibat pembebanan merata monotonik, ditunjukkan pada Tabel 5.18 dan Gambar 5.50.

Tabel 5.18 Lendutan benda uji model-A, B dan C dengan mutu variasi-1, akibat beban merata

BEBAN (Mpa)	LENDUTAN (mm)		
	Model-A	Model-B	Model-C
0.00	0.00	0.00	0.00
0.05	0.13	0.14	0.14
0.10	0.25	0.27	0.29
0.15	0.38	0.41	0.44
0.20	0.51	0.54	0.58
0.25	0.63	0.68	0.73
0.30	0.84	0.89	0.93
0.35	1.05	1.11	1.20
0.40	1.24	1.29	1.44



Gambar 5.50 Grafik lendutan benda uji model-A, B dan C akibat beban merata monotonik dengan mutu beton variasi-1

Untuk regangan dan tegangan yang terjadi pada baja tulangan, dapat dilihat pada Tabel 5.19 sampai dengan 5.22. Sedangkan untuk tegangan pada beton di tengah bentang sisi bawah dapat dilihat pada Tabel 5.23.

Tabel 5.19 Regangan pada tulangan bawah pelat model A, B dan C akibat beban merata dengan mutu beton Variasi-1

<b>BEBAN</b>	<b>REGANGAN TULANGAN BAWAH (<math>\mu\epsilon</math>)</b>					
	<b>ARAH-X</b>			<b>ARAH-Z</b>		
<b>(Mpa)</b>	<b>Model-A</b>	<b>Model-B</b>	<b>Model-C</b>	<b>Model-A</b>	<b>Model-B</b>	<b>Model-C</b>
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.05	17.36	8.02	8.01	18.51	15.39	17.66
0.10	34.73	16.04	16.03	37.04	30.80	35.32
0.15	52.13	24.05	24.05	55.60	46.18	53.03
0.20	69.54	32.11	32.10	74.17	61.69	70.80
0.25	87.00	40.16	40.18	92.77	77.17	88.74
0.30	111.44	48.21	51.66	121.55	97.77	115.87
0.35	145.27	64.12	72.24	157.52	131.92	143.73
0.40	182.50	84.19	97.47	197.05	169.88	167.48

Tabel 5.20 Tegangan pada tulangan bawah pelat model A, B dan C akibat beban merata dengan mutu beton Variasi-1

<b>BEBAN</b>	<b>TEGANGAN TULANGAN BAWAH (MPa)</b>					
	<b>ARAH-X</b>			<b>ARAH-Z</b>		
<b>(Mpa)</b>	<b>Model-A</b>	<b>Model-B</b>	<b>Model-C</b>	<b>Model-A</b>	<b>Model-B</b>	<b>Model-C</b>
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.05	3.47	1.60	1.60	3.70	3.08	3.53
0.10	6.95	3.21	3.21	7.41	6.16	7.06
0.15	10.43	4.81	4.81	11.12	9.24	10.61
0.20	13.91	6.42	6.42	14.83	12.34	14.16
0.25	17.40	8.03	8.04	18.55	15.43	17.75
0.30	22.29	9.64	10.33	24.31	19.55	23.17
0.35	29.05	12.82	14.45	31.50	26.38	28.75
0.40	36.50	16.84	19.49	39.41	33.98	33.50

Tabel 5.21 Regangan pada tulangan atas pelat model A, B dan C akibat beban merata dengan mutu beton variasi-1

<b>BEBAN</b>	<b>REGANGAN TULANGAN ATAS (<math>\mu\epsilon</math>)</b>					
	<b>ARAH-X</b>			<b>ARAH-Z</b>		
<b>(Mpa)</b>	<b>Model-A</b>	<b>Model-B</b>	<b>Model-C</b>	<b>Model-A</b>	<b>Model-B</b>	<b>Model-C</b>
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.05	-23.15	-16.41	-22.20	-25.26	-20.84	-20.72
0.10	-46.30	-32.82	-44.38	-50.51	-41.68	-41.44
0.15	-69.46	-49.17	-66.57	-75.78	-62.45	-62.16
0.20	-92.62	-65.61	-88.84	-101.05	-83.37	-82.87
0.25	-115.88	-82.01	-111.18	-126.45	-104.23	-103.55
0.30	-140.77	-98.45	-134.26	-153.72	-125.02	-124.24
0.35	-167.64	-115.21	-168.192	-183.08	-145.91	-147.466
0.40	-195.37	-133.34	-208.85	-213.06	-170.65	-169.84

Tabel 5.22 Tegangan pada tulangan atas pelat model A, B dan C akibat beban merata dengan mutu beton variasi-1

<b>BEBAN</b>	<b>TEGANGAN TULANGAN ATAS (MPa)</b>					
	<b>ARAH-X</b>			<b>ARAH-Z</b>		
<b>(Mpa)</b>	<b>Model-A</b>	<b>Model-B</b>	<b>Model-C</b>	<b>Model-A</b>	<b>Model-B</b>	<b>Model-C</b>
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.05	-4.63	-3.28	-4.44	-5.05	-4.17	-4.14
0.10	-9.26	-6.56	-8.88	-10.10	-8.34	-8.29
0.15	-13.89	-9.83	-13.31	-15.16	-12.49	-12.43
0.20	-18.52	-13.12	-17.77	-20.21	-16.67	-16.57
0.25	-23.18	-16.40	-22.24	-25.29	-20.85	-20.71
0.30	-28.15	-19.69	-26.85	-30.74	-25.00	-24.85
0.35	-33.53	-23.04	-33.64	-36.62	-29.18	-29.49
0.40	-39.07	-26.67	-41.77	-42.61	-34.13	-33.97

Tabel 5.23 Tegangan beton di tengah bentang sisi bawah pelat model A, B dan C untuk mutu beton variasi-1

BEBAN	TEGANGAN BETON SISI BAWAH TENGAH BENTANG (MPa)								
	S <sub>11</sub>			S <sub>22</sub>			S <sub>33</sub>		
(Mpa)	Model-A	Model-B	Model-C	Model-A	Model-B	Model-C	Model-A	Model-B	Model-C
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.05	0.62	0.40	0.40	-0.07	-0.03	-0.01	0.65	0.60	0.66
0.10	1.24	0.81	0.80	-0.13	-0.05	-0.01	1.30	1.20	1.32
0.15	1.86	1.21	1.20	-0.20	-0.08	-0.02	1.95	1.80	1.98
0.20	2.48	1.62	1.61	-0.27	-0.10	-0.03	2.60	2.40	2.64
0.25	3.11	2.03	2.01	-0.34	-0.13	-0.03	3.26	3.00	3.31
0.30	3.23	2.43	2.30	-0.32	-0.16	-0.09	3.49	3.61	3.67
0.35	3.12	2.35	2.99	-0.33	-0.09	-0.71	3.35	3.53	3.27
0.40	3.00	2.24	3.07	-0.33	0.01	-0.63	3.20	3.23	3.07

### 5.5.2. Analisis *FEM* Pelat Uji untuk Pembebanan Merata Monotonik dengan Mutu Material Variasi-2

Untuk beton dengan mutu beton / material variasi-2, setelah dihitung secara analitis, didapatkan besarnya beban retak sebesar 0.19 MPa. Pembebanan yang digunakan dalam analisis bisa menggunakan seperti analisis pada model pelat dengan mutu beton variasi-1, namun hanya sampai step ke 6. Hal ini karena mutu beton variasi-2 lebih rendah dari mutu beton variasi-1, sehingga bebannya diperkirakan lebih rendah dari model pelat dengan mutu beton variasi-1. Adapun besaran beban yang diberikan adalah sebagai berikut :

Step 1 = 0.05 Mpa

Step 2 = 0.10 Mpa

Step 3 = 0.15 Mpa

Step 4 = 0.20 Mpa

Step 5 = 0.25 Mpa

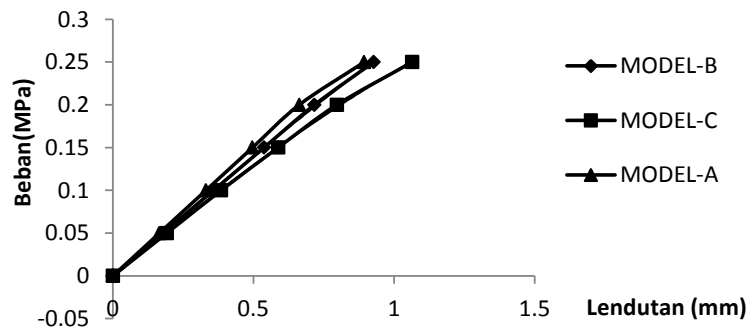
Step 6 = 0.30 Mpa

Hasil lendutan yang didapat dari analisis *FEM* untuk model pelat benda uji akibat pembebanan merata monotonik, ditunjukkan pada Tabel 5.24 dan Gambar 5.51. Regangan dan Tegangan yang terjadi pada tulangan dapat dilihat pada Tabel 5.25 sampai dengan Tabel 5.28. Sedangkan untuk tegangan pada beton di tengah bentang sisi bawah dapat dilihat pada Tabel 5.29.

Tabel 5.24 Lendutan benda uji 2 m x 2 m model-A, B dan C dengan mutu variasi-2, akibat beban merata

BEBAN (Mpa)	LENDUTAN (mm)		
	MODEL-A	MODEL-B	MODEL-C
0.00	0.00	0.00	0.00
0.05	0.17	0.18	0.19
0.10	0.33	0.36	0.38
0.15	0.50	0.54	0.59
0.20	0.66	0.72	0.80
0.25	0.89	0.93	1.06

Lendutan Pelat 2 m x 2 m, Beban Merata, Mutu Beton *Overtopping* dan Pracetak = 24.9 MPa



Gambar 5.51 Grafik lendutan benda uji model-A, B dan C akibat beban merata monotonik dengan mutu beton variasi-2

Tabel 5.25 Regangan pada tulangan bawah pelat model A, B dan C akibat beban merata dengan mutu beton variasi-2

BEBAN (Mpa)	REGANGAN TULANGAN BAWAH ( $\mu\epsilon$ )					
	ARAH-X			ARAH-Z		
	Model-A	Model-B	Model-C	Model-A	Model-B	Model-C
0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.05	4.5312	2.3454	2.1829	4.7293	4.0727	4.7321
0.10	9.0687	4.6921	4.3711	9.4651	8.1506	9.4939
0.15	18.1655	7.0423	6.6597	18.9532	12.2377	14.4411
0.20	24.5332	9.3929	8.8417	25.3350	16.3289	19.4252
0.25	34.2955	11.7545	14.3805	35.9197	20.4612	31.4974

Tabel 5.26 Tegangan pada tulangan bawah pelat model A, B dan C akibat beban merata dengan mutu beton variasi-2

BEBAN	TEGANGAN TULANGAN BAWAH (MPa)					
	ARAH-X			ARAH-Z		
(Mpa)	Model-A	Model-B	Model-C	Model-A	Model-B	Model-C
0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.05	0.9062	0.4691	0.4366	0.9459	0.8145	0.9464
0.10	1.8137	0.9384	0.8742	1.8930	1.6301	1.8988
0.15	3.6331	1.4085	1.3319	3.7906	2.4475	2.8882
0.20	4.9066	1.8786	1.7683	5.0670	3.2658	3.8850
0.25	6.8591	2.3509	2.8761	7.1839	4.0922	6.2995

Tabel 5.27 Regangan pada tulangan atas pelat model A, B dan C akibat beban merata dengan mutu beton variasi-2

BEBAN	REGANGAN TULANGAN ATAS ( $\mu\epsilon$ )					
	ARAH-X			ARAH-Z		
(Mpa)	Model-A	Model-B	Model-C	Model-A	Model-B	Model-C
0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.05	-6.0456	-4.9271	-5.6252	-6.5296	-5.8027	-5.4202
0.10	-12.0918	-9.8511	-11.2818	-13.0599	-11.6040	-10.8137
0.15	-24.2041	-14.7760	-17.3433	-26.1472	-17.4088	-15.8855
0.20	-30.7273	-19.6964	-23.3182	-33.2036	-23.2104	-20.4106
0.25	-37.5353	-24.6539	-30.8999	-40.5232	-28.9937	-25.7918

Tabel 5.28 Tegangan pada tulangan atas pelat model A, B dan C akibat beban merata dengan mutu beton variasi-2

BEBAN	TEGANGAN TULANGAN ATAS (MPa)					
	ARAH-X			ARAH-Z		
(Mpa)	Model-A	Model-B	Model-C	Model-A	Model-B	Model-C
0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.05	-1.2091	-0.9854	-1.1250	-1.3059	-1.1605	-1.0840
0.10	-2.4184	-1.9702	-2.2564	-2.6120	-2.3208	-2.1627
0.15	-4.8408	-2.9552	-3.4687	-5.2294	-3.4818	-3.1771
0.20	-6.1455	-3.9393	-4.6636	-6.6407	-4.6421	-4.0821
0.25	-7.5071	-4.9308	-6.1800	-8.1046	-5.7987	-5.1584

Tabel 5.29 Tegangan beton di tengah bentang sisi bawah pelat model A, B dan C untuk mutu beton variasi-2

BEBAN (Mpa)	TEGANGAN BETON SISI BAWAH TENGAH BENTANG (MPa)								
	$S_{11}$			$S_{22}$			$S_{33}$		
	Model-A	Model-B	Model-C	Model-A	Model-B	Model-C	Model-A	Model-B	Model-C
0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.05	0.6251	0.4109	0.3995	0.0591	-0.0236	-0.0066	0.6428	0.5869	0.6495
0.10	1.2511	0.8221	0.8005	0.1183	-0.0473	-0.0133	1.2865	1.1746	1.3027
0.15	1.8781	1.2339	1.2190	0.1774	-0.0710	-0.0206	1.9313	1.7634	1.9808
0.20	2.5059	1.6459	1.6252	0.2368	-0.0948	-0.0289	2.5764	2.3528	2.6614
0.25	2.9216	2.0604	1.9227	0.1113	-0.1187	-0.1744	2.8932	2.9476	2.7536

### 5.5.3. Analisis *FEM* Pelat Uji untuk Pembebanan Merata Monotonik dengan Mutu Material Variasi-3

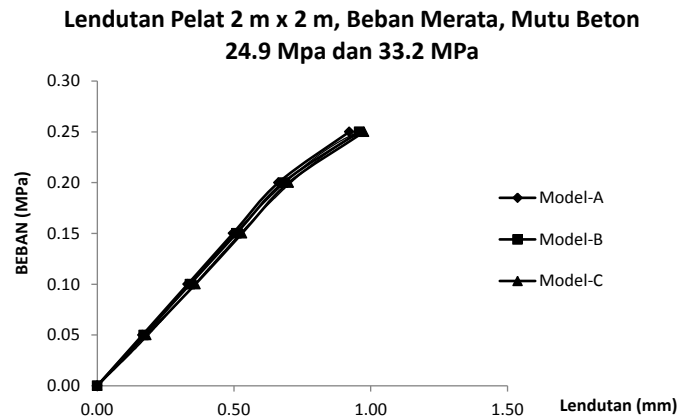
Untuk beton dengan mutu beton / material variasi-3, sari perhitungan analitis, didapatkan besarnya beban retak adalah 0.20 MPa. Pembebanan yang digunakan dalam analisis sama dengan beban yang digunakan dalam analisis model pelat dengan mutu beton variasi-2.

Hasil lendutan yang didapat dari analisis *FEM* untuk model pelat benda uji akibat pembebanan merata monotonik, ditunjukkan pada Tabel 5.30 dan Gambar 5.52. Regangan dan Tegangan yang terjadi pada tulangan dapat dilihat pada Tabel 5.31 sampai dengan Tabel 5.34. Sedangkan untuk tegangan pada beton di tengah bentang sisi bawah dapat dilihat pada Tabel 5.35.

Tabel 5.30 Lendutan benda uji 2 m x 2 m model-A, B dan C dengan Mutu variasi-3, akibat beban merata

BEBAN (Mpa)	LENDUTAN (mm)		
	Model-A	Model-B	Model-C
0.00	0.00	0.00	0.00
0.05	0.17	0.17	0.18
0.10	0.33	0.34	0.36
0.15	0.50	0.51	0.53
0.20	0.66	0.68	0.70
0.25	0.92	0.96	0.98





Gambar 5.52 Grafik lendutan benda uji model-A, B dan C akibat beban Merata monotonik dengan mutu beton Variasi-3

Tabel 5.31 Regangan pada tulangan bawah pelat model A, B dan C akibat beban merata dengan mutu beton variasi-3

BEBAN (Mpa)	REGANGAN TULANGAN BAWAH ( $\mu\epsilon$ )					
	ARAH-X			ARAH-Z		
	Model-A	Model-B	Model-C	Model-A	Model-B	Model-C
0.05	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.10	4.5312	2.0672	1.8924	4.7293	3.6935	4.1848
0.15	9.0687	4.1351	3.7930	9.4651	7.3915	8.3977
0.20	18.1655	6.2053	5.7745	18.9532	11.0965	12.7864
0.25	24.5332	8.2792	7.8528	25.3350	14.8112	17.5858
0.30	34.2955	10.3601	12.8616	35.9197	18.6757	31.2280

Tabel 5.32 Tegangan pada tulangan bawah pelat model A, B dan C akibat beban merata dengan mutu beton variasi-3

BEBAN (Mpa)	TEGANGAN TULANGAN BAWAH (MPa)					
	ARAH-X			ARAH-Z		
	Model-A	Model-B	Model-C	Model-A	Model-B	Model-C
0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.05	0.9062	0.4134	0.3785	0.9459	0.7387	0.8370
0.10	1.8137	0.8270	0.7586	1.8930	1.4783	1.6795
0.15	3.6331	1.2411	1.1549	3.7906	2.2193	2.5573
0.20	4.9066	1.6558	1.5706	5.0670	2.9622	3.5172
0.25	6.8591	2.0720	2.5723	7.1839	3.7351	6.2456

Tabel 5.33 Regangan pada tulangan atas pelat model A, B dan C akibat beban merata dengan mutu beton variasi-3

BEBAN	REGANGAN TULANGAN ATAS ( $\mu\epsilon$ )					
	ARAH-X			ARAH-Z		
(Mpa)	Model-A	Model-B	Model-C	Model-A	Model-B	Model-C
0.05	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.10	-6.0456	-4.8569	-5.1438	-6.5296	-5.6693	-5.3470
0.15	-12.0918	-9.7108	-10.3144	-13.0599	-11.3371	-10.6698
0.20	-24.2041	-14.5644	-15.9123	-26.1472	-17.0068	-15.7061
0.25	-30.7273	-19.4210	-21.7592	-33.2036	-22.6822	-20.5400
0.30	-37.5353	-24.3193	-29.4661	-40.5232	-28.3322	-26.2568

Tabel 5.34 Tegangan pada tulangan atas pelat model A, B dan C akibat beban merata dengan mutu beton variasi-3

BEBAN	TEGANGAN TULANGAN ATAS (MPa)					
	ARAH-X			ARAH-Z		
(Mpa)	Model-A	Model-B	Model-C	Model-A	Model-B	Model-C
0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.05	-1.2091	-0.9714	-1.0288	-1.3059	-1.1339	-1.0694
0.10	-2.4184	-1.9422	-2.0629	-2.6120	-2.2674	-2.1340
0.15	-4.8408	-2.9129	-3.1825	-5.2294	-3.4014	-3.1412
0.20	-6.1455	-3.8842	-4.3518	-6.6407	-4.5364	-4.1080
0.25	-7.5071	-4.8639	-5.8932	-8.1046	-5.6664	-5.2514

Tabel 5.35 Tegangan beton di tengah bentang sisi bawah pelat model A, B dan C untuk mutu beton variasi-3

BEBAN	TEGANGAN BETON SISI BAWAH TENGAH BENTANG (MPa)								
	$S_{11}$			$S_{22}$			$S_{33}$		
(Mpa)	Model-A	Model-B	Model-C	Model-A	Model-B	Model-C	Model-A	Model-B	Model-C
0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.05	0.6251	0.4230	0.4092	0.0591	-0.0242	-0.0057	0.6428	0.6137	0.6624
0.10	1.2511	0.8462	0.8200	0.1183	-0.0485	-0.0116	1.2865	1.2280	1.3290
0.15	1.8781	1.2699	1.2486	0.1774	-0.0728	-0.0165	1.9313	1.8434	2.0228
0.20	2.5059	1.6945	1.6999	0.2368	-0.0972	-0.0245	2.5764	2.4604	2.7770
0.25	2.9216	2.1226	1.6394	0.1113	-0.1221	-0.0733	2.8932	3.0837	2.6225
0.30	2.4938	1.4539	1.7350	0.1196	-0.3316	-0.0392	2.5350	2.2576	2.0680

#### **5.5.4. Pembahasan Lendutan dan Beban Retak Hasil Analisis *FEM* untuk Pelat Uji yang Dibebani Merata Monotonik**

Hasil lendutan dari analisis *FEM* terhadap pelat model A, B dan C untuk mutu material variasi-1 mempunyai *trend* yang sama dengan pelat dengan mutu beton variasi-2. Hal ini bila dicermati adalah akibat mutu beton *overtopping* dan mutu komponen pracetaknya sama atau mendekati sama. Lendutan model A, B dan C yang terjadi mempunyai perbedaan nilai cukup besar yang ditunjukkan dengan perbedaan grafik hubungan beban vs lendutan yang jauh dari berimpit (lihat Gambar 5.51).

Dengan menggunakan regresi grafik lendutan vs beban dari benda uji model-B dan model-C, maka dengan memasukkan nilai lendutan saat terjadi retak untuk model-A ke dalam persamaan grafik lendutan vs beban, akan didapatkan besarnya beban retak masing-masing model. Benda uji model-B dan model-C dengan mutu material variasi-1 mempunyai perbedaan beban retak terhadap model-A, dimana model-B mempunyai beban retak lebih kecil **7.15%** terhadap model-A. Sedangkan model-C beban retaknya lebih kecil **12.45%** terhadap model-A. Untuk benda uji model-B dan model-C dengan mutu material variasi-2 mempunyai trend perbedaan beban retak terhadap model-A yang mirip sama dengan mutu material variasi-1, dimana model-B mempunyai beban retak kecil **8.70%** terhadap model-A. Sedangkan model-C beban retaknya lebih kecil **13.38%** terhadap model-A.

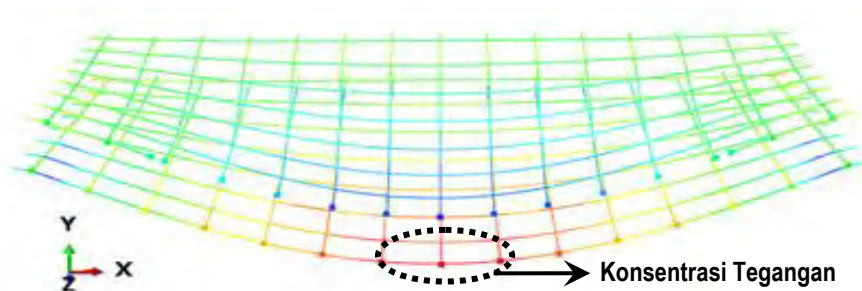
Oleh karena analisis terhadap model benda uji dengan mutu material beton variasi-1 dan variasi-2 masih mempunyai trend yang sama, maka analisis *FEM* dilakukan ulang, namun dengan mutu material beton variasi-3, maka terlihat bahwa grafik hubungan beban vs lendutan untuk model A, B dan C sudah mendekati berimpit (lihat Gambar 5.52). Perbedaan beban retak untuk model-B dan model-C dengan mutu material variasi-3 terhadap model A adalah, dimana untuk model-B mempunyai beban retak hanya lebih kecil **3.5%** terhadap model-A dan untuk model-C mempunyai beban retak lebih kecil **6.5%** terhadap model-A. Hal ini berarti ketiga model pelat tersebut kekakuannya sudah mendekati sama. Namun fenomena tersebut akan lebih kuat bila divalidasi dengan percobaan di laboratorium.

#### 5.5.5. Pembahasan Regangan Tulangan Tarik Hasil Analisis *FEM* untuk Pelat Uji yang Dibebani Merata Monotonik

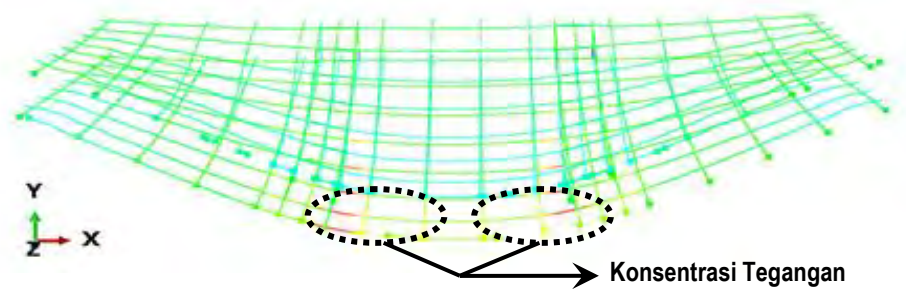
Regangan dari hasil analisis *FEM* pada tulangan tarik dari pelat uji yang dibebani merata monotonik menunjukkan trend yang hampir sama dengan regangan tulangan tarik pada pelat uji yang diberi beban *loading - unloading*, khususnya pelat model B dan C, baik secara eksperimental maupun secara *FEM*. Regangan tulangan tarik yang arahnya tegak lurus dari garis sambungan antara komponen pracetak mempunyai nilai regangan di tengah bentang jauh lebih kecil dibandingkan dengan regangan pada tulangan tarik yang searah dengan garis sambungan antara komponen pracetak. Hal ini karena dengan membukanya sambungan antar komponen pracetak, mengakibatkan regangan tulangan tarik di tengah bentang menjadi berkurang.

#### 5.5.6. Pembahasan Tegangan Tulangan Tarik Hasil Analisis *FEM* untuk Pelat Uji yang Dibebani Merata Monotonik

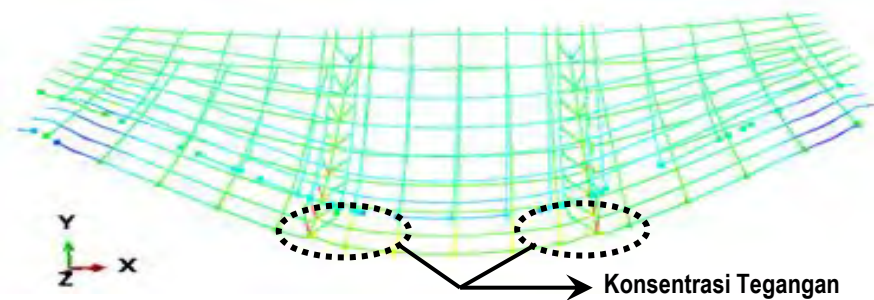
Untuk pelat uji yang dibebani merata monotonik, konsentrasi tegangan yang terjadi di tulangan tarik juga menunjukkan di tempat sekitar terjadinya retak awal. Karena bebannya merata, maka momen maksimum untuk pelat uji model-A terjadi di tengah bentang. Sehingga konsentrasi tegangan juga terjadi di tengah bentang, seperti diperlihatkan pada Gambar 5.53. Sedangkan untuk pelat model B dan C, dari hasil analisis *FEM* menunjukkan terjadi di tempat sekitar sambungan antar komponen pracetak. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa retak awal terjadi di lokasi sambungan antar komponen pracetak seperti ditunjukkan pada Gambar 5.54 dan Gambar 5.55.



Gambar 5.53 Posisi konsentrasi tegangan pada baja tulangan tarik untuk pelat model-A akibat beban merata hasil analisis *FEM*



Gambar 5.54 Posisi konsentrasi tegangan pada baja Tulangan tarik untuk pelat model-B akibat Beban merata hasil analisis *FEM*



Gambar 5.55 Posisi konsentrasi tegangan pada baja tulangan tarik untuk pelat model-C akibat beban merata hasil analisis *FEM*

Konsentrasi tegangan tersebut dikuatkan dengan hasil analisis *FEM* untuk model A, B dan C dan untuk mutu material beton variasi-2 dan variasi-3 seperti ditunjukkan pada Tabel 5.36.

Tabel 5.36 Regangan baja tulangan tarik arah-X dari pelat uji 2m x 2m di tengah dan di sekitar sambungan akibat beban merata

BEBAN	MATERIAL BETON VARIASI-2					MATERIAL BETON VARIASI-3			
	REGANGAN TULANGAN BAWAH ( $\mu\epsilon$ )					REGANGAN TULANGAN BAWAH (me)			
	ARAH-X					ARAH-X			
	Model-A	Model-B		Model-C		Model-B		Model-C	
(Mpa)	Tengah	Tengah	Samb	Tengah	Samb	Tengah	Samb	Tengah	Samb
0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.05	4.5312	2.3454	23.0961	2.1829	14.5147	2.0672	21.8848	1.8924	13.4176
0.10	9.0687	4.6921	46.2266	4.3711	29.0895	4.1351	43.8011	3.7930	40.8278
0.15	18.1655	7.0423	69.4133	6.6597	44.1741	6.2053	65.7637	5.7745	55.8650
0.20	24.5332	9.3929	92.6269	8.8417	59.1891	8.2792	87.7893	7.8528	75.3369
0.25	34.2955	11.7545	116.0020	14.3805	78.8463	10.3601	109.8320	12.8616	112.1850

Tabel 5.37 Tegangan baja tulangan tarik arah-X dari pelat uji 2m x 2m di tengah dan di sekitar sambungan akibat beban merata

BEBAN  (Mpa)	MATERIAL BETON VARIASI-2					MATERIAL BETON VARIASI-3				
	TEGANGAN TULANGAN BAWAH (MPa)					TEGANGAN TULANGAN BAWAH (MPa)				
	ARAH-X					ARAH-X				
	Model-A	Model-B		Model-C		Model-B		Model-C		
	Tengah	Tengah	Samb	Tengah	Samb	Tengah	Samb	Tengah	Samb	
0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
0.05	0.9062	0.4691	4.6192	0.4366	2.9029	0.4134	4.3770	0.3785	2.6835	
0.10	1.8137	0.9384	9.2453	0.8742	5.8179	0.8270	8.7602	0.7586	8.1656	
0.15	3.6331	1.4085	13.8827	1.3319	8.8348	1.2411	13.1527	1.1549	11.1730	
0.20	4.9066	1.8786	18.5254	1.7683	11.8378	1.6558	17.5579	1.5706	15.0674	
0.25	6.8591	2.3509	23.2004	2.8761	15.7693	2.0720	21.9664	2.5723	22.4370	

## 5.6. Perhitungan Analitis Pelat Berdimensi 10 m x 10 m untuk Pembebanan Merata Monotonik

Analisis *FEM* juga dicobakan untuk pelat veton yang dimensinya berbeda yaitu 10 m x 10 m dengan ketebalan 50 cm dengan mutu material beton variasi-2. Analisis yang dilakukan adalah untuk perhitungan beban retak, perhitungan lendutan, perhitungn regangan pada beton sisi bawah di tengah bentang, perhitungan regangan pada tulangan tarik dan perhitungan regangan pada tulangan tekan.

### Perhitungan Beban Retak

Pelat yang benda uji yang dianalisis mempunyai dimensi dan parameter sebagai berikut :

$$\text{Panjang (a)} = 10 \text{ m}$$

$$\text{Lebar (b)} = 10 \text{ m}$$

$$\text{Tebal (h)} = 0.5 \text{ m}$$

$$b/a = 1$$

$$\text{Momen Inersia (I)} = 0.8 \times [10 \times 0.5^3/12] = 0.08333 \text{ m}^4$$

$$f_c'' = 24.9 \text{ N/mm}^2 = 24900000 \text{ N/m}^2$$

$$E = 23452 \text{ N/mm}^2$$

$$f_r = 0.62 \cdot f_c''^{(0.5)} = 3.0937 \text{ N/mm}^2 = 3093700 \text{ N/m}^2$$

$$\text{Momen Retak (M}_{cr}) = I f_r / (h/2) = 1031192 \text{ N-m}$$

$$M_{cr} = c_2 p_0 a^2$$

Nilai  $c_2$  dapat diambil berdasarkan Tabel 5.12. Karena nilai  $b/a = 1$ , maka nilai  $c_2$  diambil sebesar 0.0479

$$p_0 = M_{cr} / (c_2 \times a^2)$$

$$p_0 = 1031192 / (0.0479 \times 10^2)$$

$$p_0 = 215280 \text{ N/m}^2 = \mathbf{0.215 \text{ MPa}}$$

$p_0$  merupakan prediksi beban retak yang bekerja merata di seluruh permukaan.

### Perhitungan Lendutan

Persamaan lendutan yang digunakan adalah dengan menggunakan persamaan 6.4 dan 6.5 yaitu :

$$E = 23452 \text{ MPa}$$

$$h = 500.00 \text{ mm}$$

$$\nu = 0.20$$

$$a = 10,000.00 \text{ mm}$$

$$b = 10,000.00 \text{ mm}$$

$$p_0 = 0.19 \text{ MPa}$$

$$D = Eh^3/12(1-\nu^2) = 23452 \times 500^3 / (12 (1-0.2^2)) = 254470486111$$

Nilai V dapat dihitung seperti ditunjukkan pada Tabel 5.28.

Tabel 5.38 Nilai U pada persamaan 5.2 untuk Pelat 10 m x 10 m

m	n	$\sin(m\pi x/a)$	$\sin(n\pi y/b)$	$[mn \times ((m^2/a^2 + n^2/b^2)^2)]$	RESULT
1	1	1.00	1.00	6E-16	1.66667E+15
1	2	1.00	0.00	1E-14	0.012251485
2	1	0.00	1.00	1E-14	0.012251485
2	2	0.00	0.00	5.12E-14	2.93162E-19
1	3	1.00	-1.00	6E-14	-1.66667E+13
3	1	-1.00	1.00	6E-14	-1.66667E+13
2	3	0.00	-1.00	2.028E-13	-0.000604117
3	2	-1.00	0.00	2.028E-13	-0.000604117
					<b>1.63333E+15</b>

Sehingga dengan persamaan 5.2, lendutan pada saat retak adalah sebesar :

$$w = 16p_0/D\pi^6 \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{m^6 n^6} \times U = [16 \times 0.19 / (254470486111 \times \pi^6 \times 1.63333E15) = \mathbf{20.23 \text{ mm.}}$$

### **Perhitungan Regangan pada beton sisi bawah**

Perhitungan momen retak ( $M_{cr}$ ) dari hasil perhitungan analitis pada beban retak 0.38 MPa dengan luas area seluruh permukaan pelat, maka dengan menggunakan persamaan 5.1, didapatkan besarnya  $M_{cr}$  adalah 1823031.66 N-m. sehingga besarnya regangan dan regangan pada beton dalam kondisi batas elastis akibat beban retak uji, dapat dihitung sebagai berikut :

$$M_{cr} = 1031192 \text{ N-m}$$

$$\text{Momen Inersia} = 0.08333 \text{ m}^4$$

$$\begin{aligned} f_{cr} (\text{Analitis}) &= [M_{cr} (\text{Analitis}) \times h/2] / \text{Momen Inersia} \\ &= [1031192 \times 0.25] / 0.08333 \\ &= 3093699 \text{ N/m}^2 = 3.09 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\text{Regangan } (\epsilon) = 3.09 / 23452 = 0.000131758 = \mathbf{131.76 \mu\epsilon}$$

### **Perhitungan Regangan Tulangan Tarik**

Pada daerah tulangan tarik di tengah bentang sisi luar, regangan yang terjadi akibat beban retak uji, adalah sebesar :

$$\begin{aligned} f_{baja} &= [M_{cr} (\text{Analitis}) \times (h/2 - 0.05)] / \text{Momen Inersia} \\ &= [1031192 \times 0.2 \times 200000 / 23452] / 0.08333 \\ &= 2110659.77 \text{ N/m}^2 = 21.11 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\text{Regangan } (\epsilon) = 21.11 / 200000 = 0.0000791505 = \mathbf{105.53 \mu\epsilon}$$

Sedangkan regangan pada tulangan tarik di tengah bentang sisi dalam, regangan yang terjadi akibat beban retak uji, adalah sebesar :

$$f_{baja} (\text{percobaan}) = [M_{cr} (\text{analitis}) \times (h/2 - 0.095)] / \text{Momen Inersia}$$



$$= [1031192 \times 0.1905 \times 200000/23452] / 0.08333$$

$$= 20578934 \text{ N/m}^2 = 20.58 \text{ MPa}$$

$$\text{Regangan } (\epsilon) = 20.58 / 200000 = 0.00010052 = \mathbf{102.89 \mu\epsilon}$$

### **Perhitungan Regangan Tulangan Tekan**

Regangan pada tulangan tekan sisi luar berdiameter 8 mm akibat beban retak uji dapat dihitung sebagai berikut :

$$f_{\text{baja}} = - [M_{\text{cr}} (\text{Analitis}) \times (h/2 - 0.075)] / \text{Momen Inersia}$$

$$= - [1031192 \times 0.175 \times 200000/23452] / 0.08333$$

$$= -18468274 \text{ N/m}^2 = -18.47 \text{ MPa}$$

$$\text{Regangan } (\epsilon) = -18.47 / 200000 = -0.000092342 = \mathbf{-92.34 \mu\epsilon}$$

Sedangkan regangan pada tulangan tekan di tengah bentang sisi dalam, regangan yang terjadi akibat beban retak uji, adalah sebesar :

$$f_{\text{baja}} = - [M_{\text{cr}} (\text{Analitis}) \times h/2] / \text{Momen Inersia}$$

$$= - [1031192 \times 0.162 \times 200000/23452] / 0.08333$$

$$= -17096345 \text{ N/m}^2 = -17.09 \text{ MPa}$$

$$\text{Regangan } (\epsilon) = -17.09 / 200000 = -0.000085482 = \mathbf{-85.48 \mu\epsilon}$$

### **5.7. Analisis *FEM* Pelat Berdimensi 10 m x 10 m untuk Pembebanan Merata Monotonik**

Analisis *FEM* juga dilakukan terhadap pelat monolit berdimensi 10 m x 10 m dengan ketebalan 50 cm seperti ditunjukkan pada Gambar 5.56 dan terhadap pelat *half slab* dengan ketebalan *overtopping* 15 cm dan ketebalan komponen pracetaknya 35 cm. Variasi material yang digunakan untuk analisis adalah material beton variasi-2 dan variasi-3 yang disebut dengan **Model-E** seperti ditunjukkan pada Gambar 5.57 dan *Half Slab Precast* dengan sambungan antar komponen pracetak berbentuk segi-3 yang disebut dengan **Model-F** seperti ditunjukkan pada Gambar 5.59.

Setelah dilakukan perhitungan analitis terhadap benda uji monolit (**Model-D**) dengan material variasi-2 untuk pembebanan merata, maka diketahui bahwa, beban retak yang mungkin terjadi adalah sebesar **0.215 MPa**. Beban tersebut digunakan untuk analisis *FEM* dengan membagi beberapa step pembebanan ditambah lagi dengan beban hingga mencapai kondisi non linier. Step beban merata monotonik yang diberikan adalah :

Step 1 = 0.06 Mpa

Step 2 = 0.12 Mpa

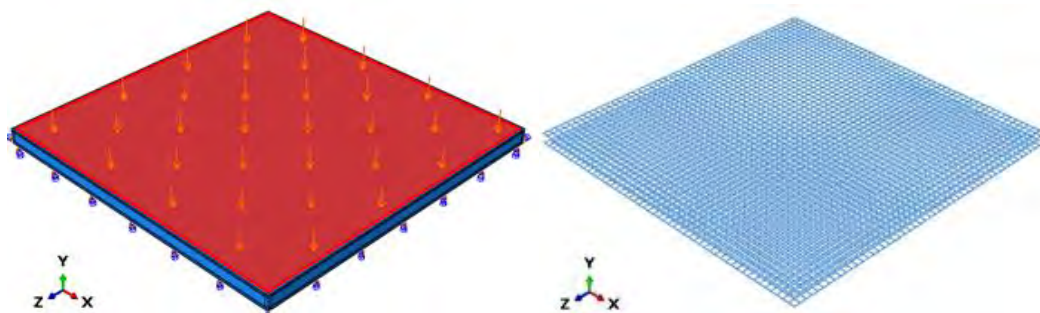
Step 3 = 0.18 Mpa

Step 4 = 0.20 Mpa

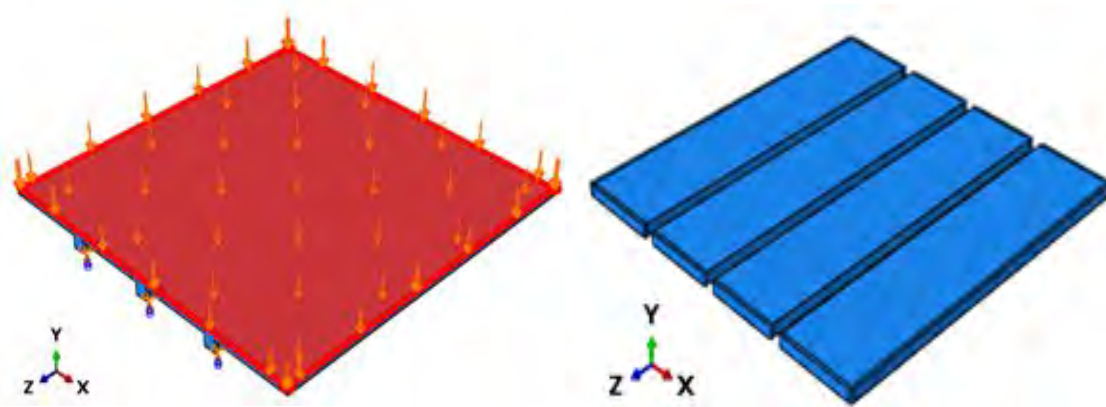
Step 5 = 0.22 Mpa

Step 6 = 0.24 Mpa

Step 7 = 0.26 Mpa



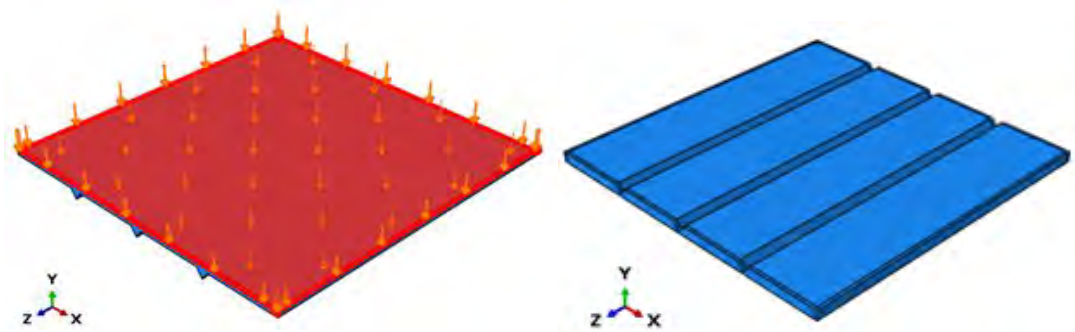
Gambar 5.56 Model-D monolit dan penulangan



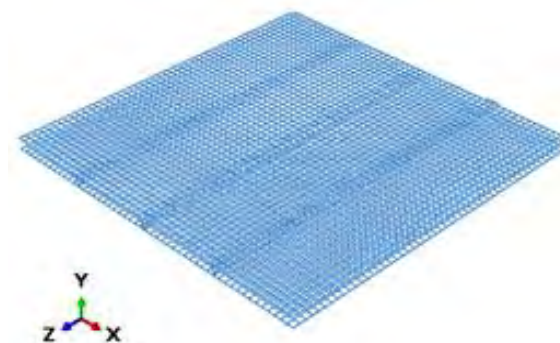
Gambar 5.57 *Overtopping* dan komponen pracetak model-E



Gambar 5.58 Penulangan model-E



Gambar 5.59 *Overtopping* dan komponen pracetak Model-F



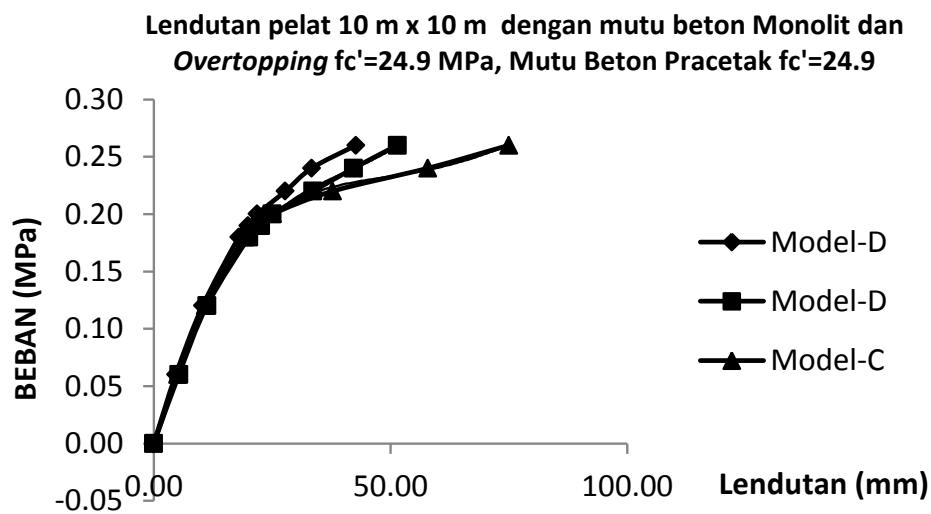
Gambar 5.60 Penulangan model-F

### 5.7.1. Analisis *FEM* Pelat Berdimensi 10 m x 10 m Akibat Beban Merata Monotonik.

Hasil analisis *FEM* untuk model pelat berdimensi 10 m x 10 m dengan mutu material beton variasi-2, baik yang monolit (model-D) maupun model-B dan model-C, menghasilkan nilai lendutan seperti ditunjukkan pada Tabel 5.39 dan Gambar 5.61.

Tabel 5.39 Lendutan pelat model-D, E dan F dengan mutu variasi-2, akibat beban merata

BEBAN (Mpa)	LENDUTAN (mm)		
	Model-D	Model-E	Model-F
0.00	0.00	0.00	0.00
0.06	4.66	5.31	5.04
0.12	10.33	11.21	10.89
0.18	17.99	20.14	19.25
0.19	19.93	22.57	22.17
0.20	21.87	25.00	25.09
0.22	27.80	33.66	37.79
0.24	33.36	42.21	57.90
0.26	42.70	51.45	75.01



Gambar 5.61 Grafik lendutan Pelat Model-D, E dan F akibat beban merata monotonik dengan mutu beton variasi-2

Untuk regangan dan tegangan yang terjadi pada tulangan pelat model D, E dan F seperti ditunjukkan pada Tabel 5.40 sampai dengan Tabel 5.43.

Tabel 5.40 Regangan pada tulangan bawah pelat model D, E dan F akibat beban merata dengan mutu beton variasi-2

BEBAN	REGANGAN TULANGAN BAWAH ( $\mu\epsilon$ )					
	ARAH-X			ARAH-Z		
(Mpa)	Model-D	Model-E	Model-F	Model-D	Model-E	Model-F
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.06	57.43	11.40	11.91	57.30	66.89	60.09
0.12	159.51	16.29	48.20	158.66	175.09	172.30
0.18	362.24	80.31	232.41	356.86	495.22	423.79
0.19	430.70	101.66	307.79	423.53	560.08	532.28
0.20	499.15	123.01	383.17	490.19	624.95	640.78
0.22	733.89	199.96	717.52	719.56	902.67	1192.46
0.24	955.33	265.74	1152.49	938.46	1191.89	2119.61
0.26	1338.19	321.58	1472.57	1320.91	1514.04	2586.82

Tabel 5.41 Tegangan pada tulangan bawah pelat model D, E dan F akibat beban merata dengan mutu beton variasi-2

BEBAN	TEGANGAN TULANGAN BAWAH (MPa)					
	ARAH-X			ARAH-Z		
(Mpa)	Model-D	Model-E	Model-F	Model-D	Model-E	Model-F
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.06	11.49	2.28	2.38	11.46	13.38	12.02
0.12	31.90	3.26	9.64	31.73	35.02	34.46
0.18	72.45	16.06	46.48	71.37	99.04	84.76
0.19	86.14	20.33	61.56	84.71	112.02	106.46
0.20	99.83	24.60	76.63	98.04	124.99	128.16
0.22	146.78	39.99	143.50	143.91	180.53	238.49
0.24	191.07	53.15	230.50	187.69	238.38	423.92
0.26	267.64	64.32	294.51	264.18	302.81	517.36

Tabel 5.42 Regangan pada tulangan atas pelat model D, E dan F akibat beban merata dengan mutu beton variasi-2

BEBAN	REGANGAN TULANGAN ATAS ( $\mu\epsilon$ )					
	ARAH-X			ARAH-Z		
(Mpa)	Model-D	Model-E	Model-F	Model-D	Model-E	Model-F
0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.06	-113.19	-93.7967	-135.728	-112.91	-131.512	-124.046
0.12	-243.43	-204.634	-288.477	-242.70	-275.072	-257.512
0.18	-417.53	-368.269	-509.575	-415.38	-475.478	-423.834
0.19	-461.88	-407.03	-584.362	-459.243	-536.560	-477.866
0.20	-506.23	-445.793	-659.148	-503.11	-597.641	-531.897
0.22	-638.27	-560.135	-943.15	-633.91	-794.487	-706.387
0.24	-754.72	-653.665	-1284.13	-749.71	-965.545	-815.195
0.26	-925.39	-718.977	-1387.64	-920.44	-1131.52	-841.346

Tabel 5.43 Tegangan pada tulangan atas pelat model D, E dan F akibat beban merata dengan mutu beton variasi-2

BEBAN	TEGANGAN TULANGAN ATAS (MPa)					
	ARAH-X			ARAH-Z		
(Mpa)	Model-D	Model-E	Model-F	Model-D	Model-E	Model-F
0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.06	-22.6382	-18.7593	-27.1456	-22.5826	-26.3024	-24.8092
0.12	-48.6850	-40.9268	-57.6954	-48.5402	-55.0144	-51.5024
0.18	-83.5064	-73.6538	-101.9150	-83.0760	-95.0956	-84.7668
0.19	-92.3764	-81.4062	-116.8723	-91.8486	-107.3119	-95.5731
0.20	-101.2464	-89.1586	-131.8296	-100.6212	-119.5282	-106.3794
0.22	-127.6548	-112.0270	-188.6300	-126.7828	-158.8974	-141.2774
0.24	-150.9434	-130.7330	-256.8260	-149.9420	-193.1090	-163.0390
0.26	-185.0778	-143.7954	-277.5280	-184.0886	-226.3040	-168.2692

Tegangan beton yang terjadi pada tengah bentang sisi bawah dapat dilihat pada Tabel 5.44.

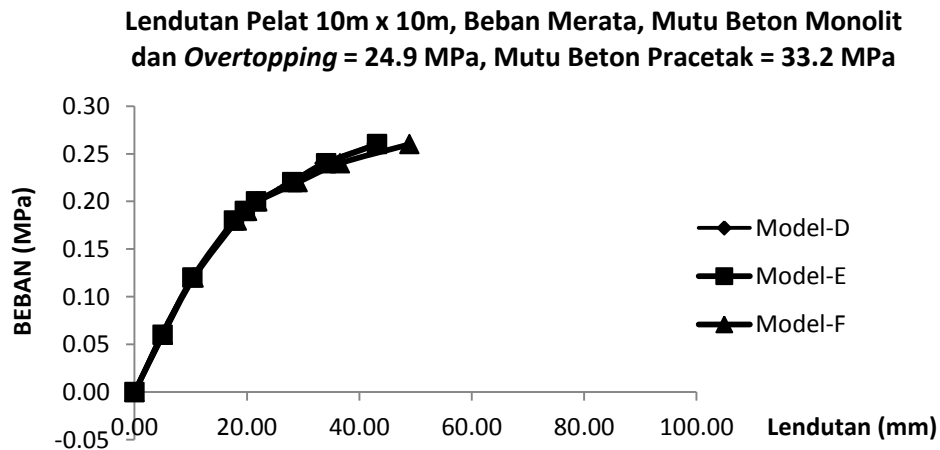
Tabel 5.44 Tegangan beton di tengah bentang sisi bawah pelat model D, E dan F untuk mutu beton Variasi-2

BEBAN	TEGANGAN BETON SISI BAWAH TENGAH BENTANG (MPa)								
	Mutu Beton Monolit, Overtopping dan Panel Pracetak $f_c'=24.9$ Mpa								
	$S_{11}$			$S_{22}$			$S_{33}$		
(Mpa)	Model-D	Model-E	Model-F	Model-D	Model-E	Model-F	Model-D	Model-E	Model-F
0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.06	2.2628	1.2177	0.9451	-0.1881	-0.5969	-0.5338	2.2928	2.1003	2.4589
0.12	2.5417	1.4295	1.7192	-0.2735	-0.7637	-1.6520	2.5143	2.2973	2.7552
0.18	1.9762	1.4965	1.7906	-0.5227	-1.5902	-3.2133	1.9690	1.5989	2.1760
0.19	1.8693	1.4235	1.7415	-0.5912	-1.7978	-3.1294	1.8804	1.5048	1.9680
0.20	1.7623	1.3505	1.6925	-0.6596	-2.0054	-3.0455	1.7917	1.4106	1.7600
0.22	1.5866	1.2703	1.7508	-0.8392	-2.2329	-2.4234	1.5913	1.2066	1.5905
0.24	1.5254	1.2095	1.7700	-0.9177	-1.8476	-1.9211	1.5390	1.2463	1.5953
0.26	1.5439	0.8937	1.8245	-0.9845	-1.4500	-1.6599	1.5509	1.3430	1.6040

Sedangkan untuk pelat monolit (Model-D) maupun pelat *half slab* Model-E dan Model-F dengan mutu material beton variasi-3, menghasilkan nilai lendutan seperti ditunjukkan pada Tabel 5.45 dan Gambar 5.62.

Tabel 5.45 Lendutan pelat model-D, E dan F dengan mutu variasi-3, akibat beban merata

BEBAN	LENDUTAN (mm)		
(Mpa)	Model-D	Model-E	Model-F
0.00	0.00	0.00	0.00
0.06	4.66	5.00	5.05
0.12	10.33	10.32	10.54
0.18	17.99	17.69	18.21
0.19	19.93	19.68	20.05
0.20	21.87	21.67	21.89
0.22	27.80	28.08	29.04
0.24	33.36	34.15	36.60
0.26	42.70	41.16	48.96



Gambar 5.62 Grafik lendutan Pelat Model-D, E dan F akibat beban merata monotonik dengan mutu beton variasi-3

Untuk regangan yang terjadi pada tulangan pelat model D, E dan F seperti ditunjukkan pada Tabel 5.46 sampai Tabel 5.49.

Tabel 5.46 Regangan pada tulangan Pelat model D, E dan F akibat beban merata dengan mutu beton variasi-3

BEBAN (Mpa)	REGANGAN TULANGAN BAWAH ( $\mu\epsilon$ )					
	ARAH-X			ARAH-Z		
	Model-D	Model-E	Model-F	Model-D	Model-E	Model-F
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.06	57.43	11.96	12.18	57.30	59.81	59.23
0.12	159.51	21.84	36.40	158.66	138.34	147.20
0.18	362.24	44.39	181.48	356.86	407.11	349.20
0.19	430.70	58.26	220.48	423.53	460.71	409.42
0.20	499.15	72.12	259.48	490.19	514.32	469.63
0.22	733.89	127.60	459.47	719.56	700.71	740.29
0.24	955.33	185.92	659.38	938.46	886.81	1029.09
0.26	1338.19	265.21	958.74	1320.91	1108.80	1542.96



Tabel 5.47 Tegangan pada tulangan Pelat model D, E dan F akibat beban merata dengan mutu beton variasi-3

BEBAN	TEGANGAN TULANGAN BAWAH (MPa)					
	ARAH-X			ARAH-Z		
(Mpa)	Model-D	Model-E	Model-F	Model-D	Model-E	Model-F
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.06	11.49	2.39	2.44	11.46	11.96	11.85
0.12	31.90	4.37	7.28	31.73	27.67	29.44
0.18	72.45	8.88	36.30	71.37	81.42	69.84
0.19	86.14	11.65	44.10	84.71	92.14	81.88
0.20	99.83	14.42	51.90	98.04	102.86	93.93
0.22	146.78	25.52	91.89	143.91	140.14	148.06
0.24	191.07	37.18	131.88	187.69	177.36	205.82
0.26	267.64	53.04	191.75	264.18	221.76	308.59

Tabel 5.48 Regangan pada tulangan atas pelat model D, E dan F akibat bebanm dengan mutu beton variasi-3

BEBAN	REGANGAN TULANGAN ATAS ( $\mu\epsilon$ )					
	ARAH-X			ARAH-Z		
(Mpa)	Model-D	Model-E	Model-F	Model-D	Model-E	Model-F
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.06	-113.19	-93.94	-134.91	-112.91	-126.93	-124.33
0.12	-243.43	-201.27	-281.84	-242.70	-261.51	-253.16
0.18	-417.53	-353.16	-494.44	-415.38	-444.08	-424.04
0.19	-461.88	-390.60	-545.25	-459.24	-495.83	-465.10
0.20	-506.23	-428.03	-596.07	-503.11	-547.59	-506.17
0.22	-638.27	-530.54	-771.95	-633.91	-709.86	-655.42
0.24	-754.72	-618.80	-942.94	-749.71	-855.15	-790.59
0.26	-925.39	-711.09	-1178.70	-920.44	-1014.46	-946.81

Tabel 5.49 Tegangan pada tulangan atas pelat model D, E dan F akibat bebanm dengan mutu beton variasi-3

BEBAN	TEGANGAN TULANGAN ATAS (MPa)					
	ARAH-X			ARAH-Z		
(Mpa)	Model-D	Model-E	Model-F	Model-D	Model-E	Model-F
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.06	-22.64	-18.79	-26.98	-22.58	-25.39	-24.87
0.12	-48.69	-40.25	-56.37	-48.54	-52.30	-50.63
0.18	-83.51	-70.63	-98.89	-83.08	-88.82	-84.81
0.19	-92.38	-78.12	-109.05	-91.85	-99.17	-93.02
0.20	-101.25	-85.61	-119.21	-100.62	-109.52	-101.23
0.22	-127.65	-106.11	-154.39	-126.78	-141.97	-131.08
0.24	-150.94	-123.76	-188.59	-149.94	-171.03	-158.12
0.26	-185.08	-142.22	-235.74	-184.09	-202.89	-189.36

Sedangkan tegangan pada beton tengah bentang sisi bawah dapat dilihat pada Tabel 5.50.

Tabel 5.50 Tegangan Beton di Tengah Bentang Sisi Bawah Pelat Model D, E dan F untuk Mutu Beton Variasi-3

BEBAN (Mpa)	TEGANGAN BETON SISI BAWAH TENGAH BENTANG (MPa)								
	Mutu Beton Monolit dan Overtopping $f_c'=24.9$ Mpa dan Panel Pracetak $f_c'=33.2$ Mpa								
	$S_{11}$			$S_{22}$			$S_{33}$		
	Model-D	Model-E	Model-F	Model-D	Model-E	Model-F	Model-D	Model-E	Model-F
0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.06	2.2628	0.9344	1.0469	-0.1881	-0.0930	-0.3623	2.2928	1.2707	2.5129
0.12	2.5417	2.0331	1.7115	-0.2735	-0.1284	-0.5044	2.5143	2.8974	2.8533
0.18	1.9762	1.9920	1.7405	-0.5227	-0.2993	0.3725	1.9690	2.4460	1.9982
0.19	1.8693	1.9255	1.7043	-0.5912	-0.3893	0.3987	1.8804	2.3162	1.9115
0.20	1.7623	1.8590	1.6681	-0.6596	-0.4793	0.4249	1.7917	2.1865	1.8247
0.22	1.5866	1.6501	1.5272	-0.8392	-0.6695	0.3757	1.5913	1.9213	1.6552
0.24	1.5254	1.5702	1.4990	-0.9177	-0.8011	-0.0508	1.5390	1.7707	1.6447
0.26	1.5439	1.4741	1.5209	-0.9845	-0.7119	-0.7834	1.5509	1.6524	1.6596

## 5.8. Pembahasan Lendutan dan Beban Retak Hasil Analisis FEM untuk Berdimensi 10 m x 10 m yang Dibebani Merata Monotonik

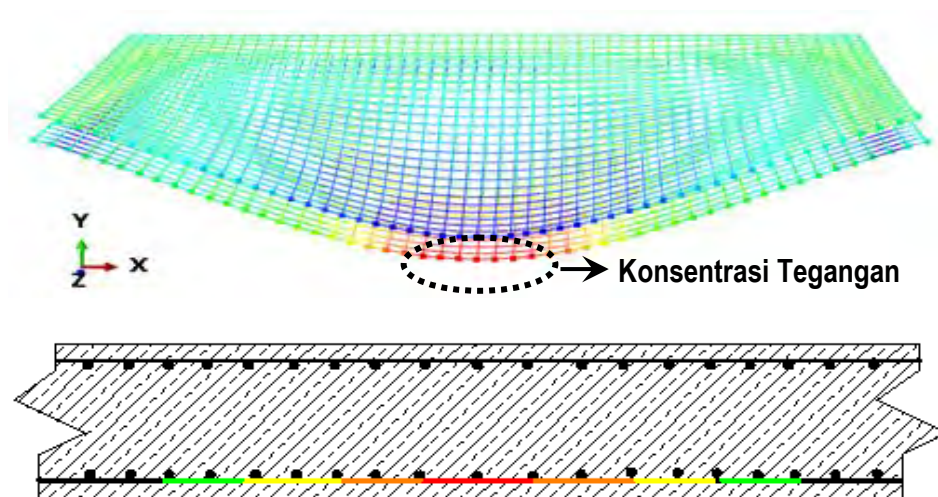
Bila mutu beton *overtopping* dan mutu komponen pracetaknya sama (material variasi-2), lendutan model D, E dan F yang terjadi mempunyai perbedaan nilai cukup besar yang ditunjukkan dengan perbedaan grafik hubungan beban vs lendutan yang jauh dari berimpit (lihat Gambar 5.61). Bila dilakukan regresi dari grafik lendutan vs beban model-E dan model-F, maka perbedaan beban retak model-E lebih kecil **9.5%** terhadap model-D. sedangkan model-F beban retaknya lebih kecil **14.5%** terhadap model-D. Namun untuk mutu beton variasi-3, dimana mutu material komponen pracetak lebih besar dari mutu beton *overtopping*-nya, maka terlihat bahwa grafik hubungan lendutan vs beban untuk model D, E dan F sudah mendekati berimpit (lihat Gambar 5.62). Perbedaan beban retak model-E menjadi lebih kecil hanya **0.2%** terhadap model-D. Sedangkan model-F mempunyai beban retak lebih kecil **2.1%** terhadap model-D. Namun fenomena tersebut akan lebih kuat bila divalidasi dengan percobaan di laboratorium.

### 5.9. Pembahasan Regangan Tulangan Tarik Hasil Analisis FEM untuk Pelat Berdimensi 10 m x 10 m yang Dibebani Merata Monotonik

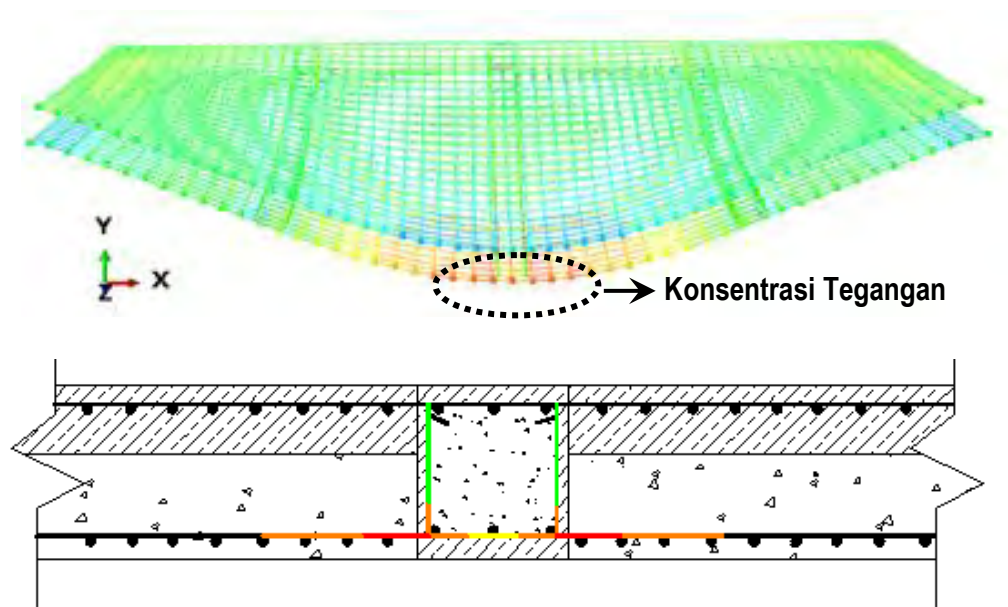
Regangan tulangan tarik yang arahnya tegak lurus dari garis sambungan antara komponen pracetak mempunyai nilai regangan di sekitar sambungan jauh lebih besar dibandingkan dengan regangan pada tulangan tarik yang searah dengan garis sambungan antara komponen pracetak. Hal ini karena dengan membukanya sambungan antar komponen pracetak, mengakibatkan regangan tulangan tarik di tengah bentang menjadi berkurang.

### 5.10. Pembahasan Tegangan Tulangan Tarik Hasil Analisis FEM untuk Berdimensi 10 m x 10 m yang Dibebani Merata Monotonik

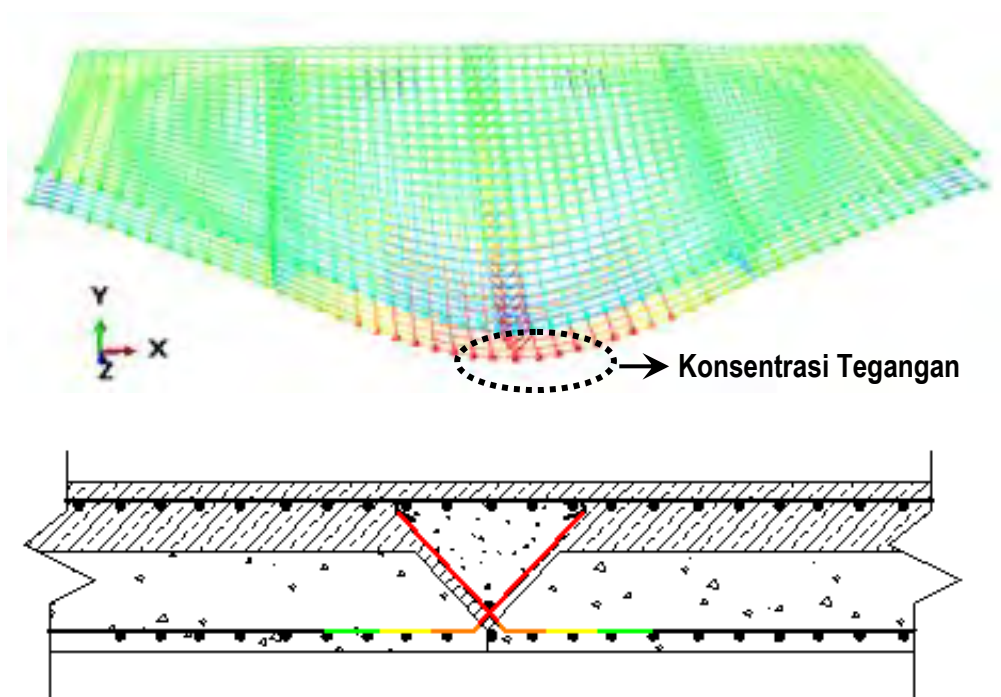
Untuk Berdimensi 10 m x 10 m yang dibebani merata monotonik, konsentrasi tegangan yang terjadi di tulangan tarik juga menunjukkan di tempat sekitar terjadinya retak awal. Karena bebannya merata, maka momen maksimum untuk pelat uji model-D terjadi di tengah bentang. Sehingga konsentrasi tegangan juga terjadi di tengah bentang, seperti diperlihatkan pada Gambar 5.63 Sedangkan untuk pelat model E dan F, dari hasil analisis FEM menunjukkan terjadi di tempat sekitar sambungan antar komponen pracetak yang posisinya mendekati tengah bentang seperti ditunjukkan pada Gambar 5.64 dan Gambar 5.65. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa retak awal terjadi di lokasi sambungan antar komponen pracetak



Gambar 5.63 Posisi konsentrasi tegangan pada baja tulangan tarik untuk pelat model-D akibat beban merata hasil analisis FEM



Gambar 5.64 Posisi konsentrasi tegangan pada baja tulangan tarik untuk pelat model-E akibat Beban merata hasil analisis *FEM*



Gambar 5.65 Posisi konsentrasi tegangan pada baja tulangan tarik untuk pelat model-F akibat beban merata hasil analisis *FEM*

Kondisi terjadinya regangan dan konsentrasi tegangan juga dapat dilihat pada Tabel 5.51.

Tabel 5.51 Regangan baja tulangan tarik arah-X dari pelat 10 m x 10 m di posisi sambungan dan di sekitar sambungan akibat beban merata

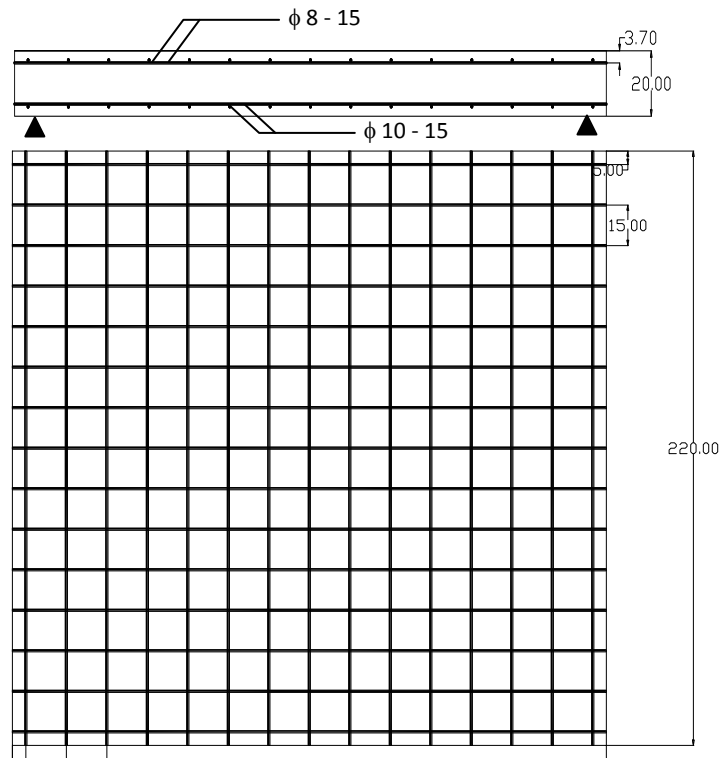
BEBAN	MUTU BETON VARIASI-2					MUTU BETON VARIASI-3			
	REGANGAN TULANGAN BAWAH ( $\mu\epsilon$ )					REGANGAN TULANGAN BAWAH ( $\mu\epsilon$ )			
	ARAH-X					ARAH-Z			
(Mpa)	Model-D	Model-E		Model-F		Model-E		Model-F	
	Tengah	di Luar Samb	Samb	di Luar Samb	Samb	di Luar Samb	di Luar Samb	di Luar Samb	Samb
0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.06	11.3991	11.9092	57.3045	66.8909	60.0890	11.9639	386.2900	12.1825	490.0150
0.12	16.2852	48.2022	158.6630	175.0900	172.2950	21.8354	788.8800	36.4002	914.3110
0.18	80.3071	232.4120	356.8630	495.2180	423.7900	44.3919	1092.4800	181.4770	1238.7500
0.19	101.6591	307.7885	423.5285	560.0830	532.2835	58.2576	1168.8450	220.4770	1291.8900
0.20	123.0110	383.1650	490.1940	624.9480	640.7770	72.1232	1245.2100	259.4770	1345.0300
0.22	199.9600	717.5170	719.5580	902.6730	1192.4600	127.5990	1524.6500	459.4730	1519.3700
0.24	265.7410	1152.4900	938.4550	1191.8900	2119.6100	185.9240	1725.0600	659.3820	1671.1800
0.26	321.5780	1472.5700	1320.9100	1514.0400	2586.8200	265.2090	1952.0800	958.7360	1885.1000

Tabel 5.52 Tegangan baja tulangan tarik arah-X dari pelat 10 m x 10 m di posisi sambungan dan di sekitar sambungan akibat beban merata

BEBAN	MUTU BETON VARIASI-2					MUTU BETON VARIASI-3			
	TEGANGAN TULANGAN BAWAH (MPa)					TEGANGAN TULANGAN BAWAH (MPa)			
	ARAH-X					ARAH-Z			
(Mpa)	Model-D	Model-E		Model-F		Model-E		Model-F	
	Tengah	di Luar	Samb	di Luar	Samb	di Luar	di Luar	di Luar	Samb
0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.06	2.2798	2.3818	11.4609	13.3782	12.0178	2.3928	77.2580	2.4365	98.0030
0.12	3.2570	9.6404	31.7326	35.0180	34.4590	4.3671	157.7760	7.2800	182.8622
0.18	16.0614	46.4824	71.3726	99.0436	84.7580	8.8784	218.4960	36.2954	247.7500
0.19	20.3318	61.5577	84.7057	112.0166	106.4567	11.6515	233.7690	44.0954	258.3780
0.20	24.6022	76.6330	98.0388	124.9896	128.1554	14.4246	249.0420	51.8954	269.0060
0.22	39.9920	143.5034	143.9116	180.5346	238.4920	25.5198	304.9300	91.8946	303.8740
0.24	53.1482	230.4980	187.6910	238.3780	423.9220	37.1848	345.0120	131.8764	334.2360
0.26	64.3156	294.5140	264.1820	302.8080	517.3640	53.0418	390.4160	191.7472	377.0200

### 5.11. Analisis Perhitungan Kapasitas Beban Layan untuk Pelat Uji berdimensi 2m x 2m

Untuk mengetahui efektifitas penggunaan sambungan yang diusulkan, maka dilakukan perhitungan kemampuan beban layan yang dapat dipikul oleh pelat uji berdimensi 2m x 2m seperti berikut :



Gambar 5.66 Gambar Pelat Monolit 2m x 2m dan Penulangannya

Perhitungan momen kapasitas yang dapat dipikul :

$$\text{Lebar pelat (b)} = 2000 \text{ mm} = 2.00 \text{ m}$$

$$\text{Panjang Plat (l)} = 2000 \text{ mm} = 2.00 \text{ m}$$

$$\text{Tebal Pelat (t)} = 200 \text{ mm} = 0.20 \text{ m}$$

$$\phi \text{ Tulangan} = 10.0 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak Tulangan} = 150 \text{ mm} = 15.0 \text{ cm}$$

$$\text{Beton decking} = 30 \text{ mm} = 3.0 \text{ cm}$$

$$\text{Tulangan terpasang} = 14 \phi 9.8 \text{ mm} = 1056.01 \text{ mm}^2$$

$$d = 160.2 \text{ mm}$$

$$f_c'' = 46 \text{ MPa}$$

$$f_y = 384 \text{ MPa}$$

$$f_s = 256 \text{ MPa}$$

$$T = A_{st} \times f_s = 1131.44 \times 256 = 289648.64 \text{ N}$$

$$a = T / (0.85 \times f_c'' \times b) = 289648.64 / (0.85 \times 46.9 \times 2000) = 3.63 \text{ mm}$$

$$\phi = 1.0$$

$$\begin{aligned} M_{kap} &= \phi \times T \times (d - a/2) = 1.0 \times 289648.64 \times (160.2 - 3.63/2) \\ &= 42841150 \text{ N-mm} = 42841.15 \text{ N-m} \end{aligned}$$

Perhitungan beban penekan dalam kondisi layan yang dapat dipikul berdasarkan momen kapasitas ( $M_{kap}$ ) dihitung menggunakan persamaan 5.1 :

$$M_{kap} = 1.0 \times c_2 \times b^2 \times q_d + 1.0 \times k \times u \times v \times q_p \dots\dots\dots \text{pers (5.3)}$$

Dimana :

$$c_2 = 0.0479 \text{ (Tabel 5.15)}$$

$$k = 0.29 \text{ (Tabel 2.5)}$$

$$q_d = \text{Beban sendiri} = t \times 2500 \times 10 = 5000 \text{ N/m}^2$$

$$q_p = \text{Beban penekan (kondisi layan)}$$

$$u = \text{Lebar beban penekan} = 0.2 \text{ m}$$

$$v = \text{Panjang beban penekan} = 0.2 \text{ m}$$

Sehingga besarnya  $q_p$  adalah :

$$\begin{aligned} q_p &= (42841.15 - 1.0 \times 0.0479 \times 2^2 \times 5000) / (1.0 \times 0.29 \times 0.2 \times 0.2) \\ &= 3610617 \text{ N/m}^2 = 3.61062 \text{ MPa} \end{aligned}$$

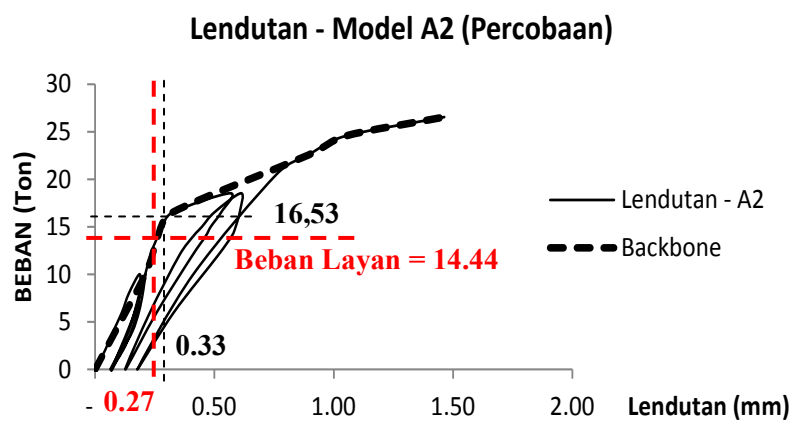
$$P = 3610617 \times 0.2 \times 0.2 = 144424.67 \text{ N} = \mathbf{14.44 \text{ Ton.}}$$

Bila dilihat dari beban retak hasil percobaan dari model A (diwakili A2) dan B (diwakili B2), maka besaran beban layan masih lebih kecil dari beban retak hasil percobaannya. Sedangkan untuk benda uji model C (diwakili C3), beban layannya sedikit lebih besar dari hasil percobaannya. Bila disajikan dalam bentuk tabel,

maka dapat dilihat pada Tabel 5.53 dan Gambar 5.67 sampai dengan Gambar 5.69.

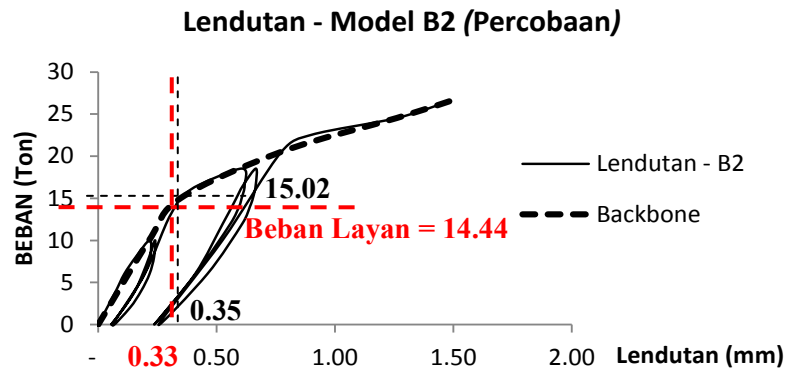
Tabel 5.53 Perbedaan lendutan berdasarkan beban percobaan dan beban layan

Jenis Pelat	Jenis Beban	Besar Beban (Ton)	Lendutan (mm)
Monolit	Beban Percobaan pada Retak Awal	16.53	0.33
	Beban Layan	14.44	0.27
Half Slab dengan Rectangular Connection	Beban Percobaan pada Retak Awal	15.02	0.35
	Beban Layan	14.44	0.33
Half Slab dengan Triangular Connection	Beban Percobaan pada Retak Awal	14.02	0.39
	Beban Layan	14.44	0.41

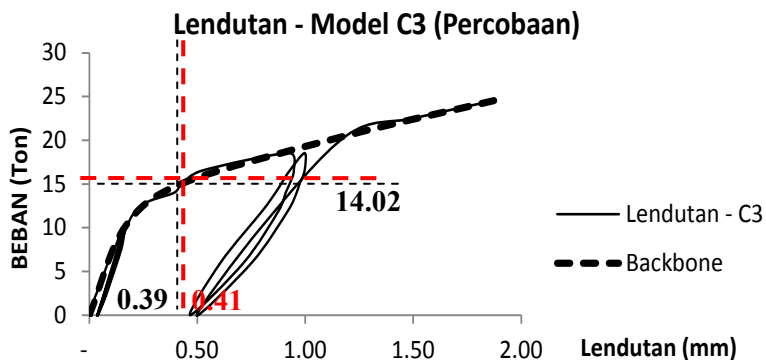


Gambar 5.67 Posisi beban layan terhadap beban retak pelat model A





Gambar 5.68 Posisi beban layan terhadap beban retak pelat model B



Gambar 5.69 Posisi beban layan terhadap beban retak pelat model C

Dari Tabel 5.53 dan Gambar 5.67 sampai Gambar 5.69, dapat disimpulkan bahwa apabila beban layan dikerjakan pada pelat uji model monolit dan half slab yang menggunakan rectangular connection, lendutannya masih lebih kecil dibandingkan dengan lendutan saat retak hasil dari percobaan, sehingga pelat uji tersebut dapat dikatakan belum mengalami kerusakan. Namun bila beban layan diberikan pada half slab yang menggunakan triangular connection, lendutannya sedikit lebih besar dibandingkan dengan lendutan saat retak hasil dari percobaan. Namun demikian lendutan pada saat retak awal dari semua model benda ujia masih jauh di bawah lendutan ijin berdasarkan aturan SNI yaitu sebesar  $1/480 \times$  bentang atau sekitar 4.1 mm.

***Halaman ini sengaja dikosongkan***

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil percobaan di laboratorium dan setelah melakukan analisis *FEM* serta perhitungan analitis adalah sebagai berikut :

##### 6.1.1 Perilaku Lendutan, Beban Retak, Beban Layan dan Beban Runtuh

Dari hasil percobaan, *two way half slab precast* dengan *rectangular connection* mempunyai nilai lendutan lebih besar yang tidak melebihi dari **10%** terhadap lendutan pelat monolit. Untuk *two way half slab precast* dengan *triangular connection* mempunyai nilai lendutan juga lebih besar yang tidak melebihi **20%** dari lendutan pelat monolit. Adapun beban retak yang bisa diterima oleh *two way half slab precast* dengan *rectangular connection* mempunyai nilai lebih kecil sekitar **10%** dari beban retak pelat monolit. Sedangkan untuk *two way half slab precast* dengan *triangular connection* beban retaknya juga lebih kecil sekitar **18%** dari beban retak pelat monolit.

Berdasarkan analisis *FEM*, bila mutu beton pracetaknya dinaikkan minimal **30%** lebih tinggi dari mutu beton pelat monolit, maka perilakunya mendekati sama dengan pelat monolit, dimana untuk *two way half slab precast* dengan *rectangular connection* nilai lendutannya hanya berbeda sekitar **3%** lebih besar terhadap pelat monolit. Sedangkan *two way half slab precast* dengan *triangular connection* perbedaan lendutannya hanya sekitar **6%** lebih besar terhadap pelat monolit. Adapun beban retak yang dapat diterima oleh *two way half slab precast* dengan *rectangular connection* nilainya hanya berbeda sekitar **3.5%** lebih kecil terhadap pelat monolit. Sedangkan untuk *two way half slab precast* dengan *triangular connection* hanya berbeda sekitar **6.5%** lebih kecil terhadap beban retak pelat monolit.

Dari analisa perhitungan besarnya beban layan yang dapat dipikul dari pelat percobaan, dapat disimpulkan bahwa apabila beban layan dikerjakan pada pelat uji model monolit dan half slab yang menggunakan *rectangular connection*, lendutannya masih lebih kecil dibandingkan dengan lendutan saat retak hasil dari

percobaan, sehingga pelat uji tersebut dapat dikatakan belum mengalami kerusakan. Namun bila beban layan diberikan pada half slab yang menggunakan triangular connection, lendutannya sedikit lebih besar dibandingkan dengan lendutan saat retak hasil dari percobaan.

Apabila mutu beton dari komponen pracetak dinaikkan 30%, maka lendutan saat retak awal akibat beban layan dari half slab yang menggunakan triangular connection masih dibawah dari lendutan hasil percobaan pada saat awal retak.

Beban runtuh yang diamati dari hasil percobaan menunjukkan bahwa untuk pelat dengan rectangular connection dan triangular connection mempunyai kemampuan **12%** lebih rendah dibandingkan dengan pelat monolit.

#### **6.1.2 Regangan Beton Sisi Bawah untuk Setiap Model Pelat**

Untuk pelat monolit, regangan beton di tengah bentang pada arah-X mempunyai nilai lebih tinggi dibandingkan dengan *half slab precast*. Hal ini terjadi karena pada *half slab precast* arah-X terdapat sambungan antar komponen pracetak, sehingga terjadi keretakan pada sambungan antar komponen pracetak yang akan berdampak nilai regangan pada beton di tengah bentang arah-X menjadi berkurang. Bila dibandingkan dengan hasil analisis *FEM*, perbedaan nilai regangannya tidak lebih dari **10%**.

#### **6.1.3 Pola Retak**

Retak awal pada pelat monolit dua arah akibat beban terpusat *loading – unloading* terjadi tepat di bawah beban (lokasi konsentrasi tegangan pada baja tulangan bawah) yang kemudian menyebar secara diagonal. Untuk *half slab precast* dua arah juga terjadi di bawah beban . Retak berikutnya terjadi pada sambungan antar komponen pracetak. Setelah sambungan antar komponen pracetak mengencang, retak selanjutnya baru menyebar secara diagonal seperti pada pelat monolit. Berdasarkan analisis *FEM*, konsentrasi tegangan akibat beban merata monotonik untuk pelat monolit terjadi di tengah bentang. Sedangkan untuk *half slab precast*, konsentrasi tegangan terjadi di daerah sambungan antar komponen pracetak. Sehingga dapat disimpulkan bahwa retak awal terjadi di daerah sambungan tersebut.

#### 6.1.4 Regangan pada Tulangan Tarik

Pengamatan regangan hasil percobaan yang terjadi pada tulangan tarik menunjukkan bahwa nilainya hampir sama dengan perbedaan tidak lebih dari **10%** dibandingkan dengan hasil analisis *FEM*, dimana hasil analisis *FEM* menunjukkan nilai yang lebih tinggi. Konsentrasi tegangan akibat beban loading – unloading terjadi di tengah bentang. Berdasarkan analisis *FEM* yang dilakukan terhadap pelat monolit maupun *half slab precast* dua arah akibat beban merata monotonik, menunjukkan bahwa regangan terbesar terjadi pada lokasi sambungan antar komponen pracetak. Hal ini menandakan bahwa retak awal terjadi juga pada sambungan antar komponen pracetak.

#### 6.1.5 Perbandingan Hasil Percobaan dengan Hasil Analisis

Perhitungan terhadap lendutan dan regangan pada baja tulangan maupun beton dengan menggunakan *FEM* menghasilkan perbedaan nilai – nilai yang tidak lebih dari 10%, maka dapat disimpulkan bahwa hasil percobaan dan analitis ini dapat dikatakan cukup valid.

### 6.2. Saran

Penelitian yang dilakukann dalam disertasi ini masih terdapat beberapa kekurangan untuk mendapatkan hasil yang lebih sempurna. Untuk itu ada beberapa saran sebagai berikut :

1. Perlu dilakukan percobaan di laboratorium untuk konfirmasi hasil penelitian disertasi ini, khususnya untuk pembebanan merata.
2. Perlu dilakukan penelitian baik secara percobaan di laboratorium, maupun analisis *FEM* dan analitis untuk variasi mutu beton yang digunakan, sehingga didapatkan optimasi nilai perbedaan mutu beton antara komponen overtopping dan komponen pracetak dari pelat sistem *half slab* dua arah.
3. Perlu dilakukan optimasi perbandingan ketebalan antara komponen overtopping dan komponen pracetak dari pelat sistem *half slab* dua arah.
4. Perlu dilakukan optimasi dimensi detail sambungan antara komponen pracetak pada pelat sistem *half slab* dua arah, baik yang menggunakan *rectangular connection* maupun *triangular connection*.

5. Melakukan percobaan dengan membuat variasi mutu beton inti, baik pada half slab precast dengan *rectangular connection* maupun dengan *triangular connection*.

## DAFTAR PUSTAKA

- ABAQUS, 2004, “ABAQUS Analysis User’s Manual”, ABAQUS Inc.
- American Concrete Institut Committee 437 (ACI 437R-03), 2003, “*Strength Evaluation of Existing Concrete Buildings*”, ACI Committee 318.
- American Concrete Institut (ACI 318M-11), 2011, “*Building Code Requirements for Structural Concrete*”, ACI Committee 318.
- Arifianto, Irawan, 2015, “*Studi Pemodelan Struktur Half Slab Precast dengan Pembebanan Momen Dua Arah pada Struktur Dermaga Petrokimian Gresik Menggunakan Analisis Elemen Hingga*”, Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah (ATPW), ISSN 2301-6752, Surabaya, 2015.
- ASTM C78-02, 2002, “Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)”,
- ASTM C293-02, 2002, “Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Center-Point Loading)”,
- ASTM C293-00, 2000, “Standard Test Method for Flexural properties of Sandwich Construction”
- Gengying Li, Xie dan Xiong, Department of Civil Engineering, 2001, “*Transition Zone Studies of New to Old Concrete with Different Binder*”, Journal of Cement and Concrete Composites Vol 23 (2001) 381-387.
- Hieber, 2005, “*State-of-the-Art Report on Precast Concrete Systems for Rapid Construction of Bridges*”, Final Technical Report Contract T2695, Task 53, Bridge Rapid Construction, Department of Civil and Environmental Engineering University of Washington.
- Irawan, Iranata, Suprobo, 2012, “*Uji Eksperimental Model Sambungan antar Komponen Pracetak Half Slab Precast Dermaga Petrokimia Gresik*”, Kerjasama penelitian dengan PT. Utama Karya (Persero).

- Irawan, Rahardjo, Chomaedhi, 2013, "*Beberapa Kesalahan Persepsi Dalam Penanganan Perubahan Sistem Pelat Monolit menjadi Sistem Pelat Pracetak Dua Arah (Studi Kasus Pembangunan Dermaga)*", Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah (ATPW), ISSN 2301 - 6752, Program Studi Diploma Teknik Sipil FTSP – ITS Surabaya, 26 Juni 2013.
- Kmiecik dan Kaminski, 2011, "*Modelling of Reinforce Concrete Strutures and Composite Structures with Concrete Strength Degradation Taken Into Consideration*", Archives of Civil and Mechanical Engineering Vol XI.
- Li, G., 2001 "*Transition Zone Studies of New-to-Old Concrete with Different Binders*", Journal of Cement and Concrete 23 381- 387.
- MacGregor, 1988, "*Reinforce Concrete Mehanics adn Design*", Third Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey 07458.
- Mufdilawati, Irawan, Suprobo, 2014, "*Pemodelan dengan Program Berbasis Elemen Hingga dalam Analisa Sambungan antar pelat beton pracetak pada Sistem Half Slab Precast yang Dibebani Momen Dua Arah*", Konferensi Nasional Pascasarjana Teknik Sipil (KNPTS), ISSN 2407 – 1021, Institut Teknologi Bandung, 6 Nopember 2014.
- Nuroji, 2004, "*Studi Eksperimental Lekatan antara Beton dan Tulangan pada Beton Mutu Tinggi*", Media Komunikasi Teknik Sipil, Volue 12, No. 3, Edisi XXX.
- Pavlovic. 2013, "*Bolted shear connectors vs headed studs behavior in push-out tests*", Journal of Constructional Steel Research, 88 (2013) 134-149
- PCI, 2004, "*PCI Design Hand Book*", PCI Sixth Edition Industry Handbook Committee. Chicago.
- Pu dan Chung, 1994, "*Improving the Bonding Between Old and New Concrete by Adding Carbon Fibersto The New Concrete*", Journal of Cement and Concrete Research, Vol. 25, No.3, pp, 491-496.
- Rudolph Szilarrd, "*Theory and Analysis of Plates*", Prentice-Hall, Inc Englewoow Cliffs, New Jersy, 1974.



- Santos dan Júlio, 2012, "*A state-of-the-art review on shear-friction*", Journal of Engineering Structures 45 435–448.
- Shin dan Wan, (2010), "*Interfacial Properties between New and Old Concretes*", Second International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies, ISBN 978-1-4507-1490-7.
- Siswosukarto, 2013, "*Semi Precast Slab as an Alternative Method to Promote Green Construction Residential House Project*", Proceeding the 6th Civil Engineering Conference in Asia Region: Embracing the Future through Sustainability, ISBN 978-602-8605-08-3.
- Society for Studies on the use of Precast Concrete Netherlands, 1987, "*Precast Concrete Connection Detail - Structural Design Manual*" .
- Tanner, J.A., 2008, "*Calculating Shear Friction Using an Effective Coefficient of Friction*", PCI Journal.
- Tezuka – 1994, "*Prestressed Half Slab Waffle Slab for Long-Span Structure*", Shimizu Tech. Res. Bull. No. 13.
- Wijanto dan Takim, 2008, "*State of The Art : Research and Application of Precast / Prestressed Concrete Systems in Indonesia*", World Conference on Earthquake Engineering, Beijing China.
- Wiyono, (2013), "*Analisa Lendutan Seketika dan Lendutan Jangka Panjang pada Struktur Balok*", Journal Teknik Sipil Volume 9, Nomor 1, April 2013 : 1-83.
- Yardim, 2013, "*Performance of Precast Thin Panel as Permanent Formwork for Precast Composite Slabs*", 2nd International Balkans Conference on Challenges of Civil Engineering, BCCCE, 23-25 May 2013, Epoka University, Tirana, Albania.

***Halaman ini sengaja dikosongkan***

## LAMPIRAN

### Lampiran 1 : Hasil pengujian silinder beton uji

#### BETON PRECAST ( K-400 )

No	TANGGAL		Keterangan	Umur	Ukuran	Berat	Tegangan Hancur ( $X_i$ )	$X_i - X_r$	$(X_i - X_r)^2$
	Pembuatan	Pengujian	Kode BU	Hari	cm	Kg	MPa	MPa	
1	06-May-15	01-Jul-15	K-400.1	56	$\phi$ 15 x 30	12.91	44.5	4.3	18.64
2	06-May-15	01-Jul-15	K-400.2	56	$\phi$ 15 x 30	12.90	43.3	3.1	9.59
3	06-May-15	01-Jul-15	K-400.4	56	$\phi$ 15 x 30	12.93	38.8	-1.3	1.80
4	06-May-15	02-Jul-15	K-400.5	57	$\phi$ 15 x 30	12.94	35.6	-4.6	20.81
5	06-May-15	01-Jul-15	K-400.7	56	$\phi$ 15 x 30	12.97	34.5	-5.7	32.17
6	06-May-15	01-Jul-15	K-400.8	56	$\phi$ 15 x 30	12.92	31.7	-8.4	71.34
7	06-May-15	01-Jul-15	K-400.9	56	$\phi$ 15 x 30	12.96	35.4	-4.8	22.88
8	06-May-15	02-Jul-15	K-400.10	57	$\phi$ 15 x 30	12.90	36.2	-4.0	16.05
9	06-May-15	01-Jul-15	K-400.15	56	$\phi$ 15 x 30	12.89	42.3	2.1	4.40
10	06-May-15	02-Jul-15	K-400.19	57	$\phi$ 15 x 30	12.93	39.0	-1.2	1.52
11	06-May-15	01-Jul-15	K-400.22	56	$\phi$ 15 x 30	12.91	46.8	6.6	44.20
12	06-May-15	01-Jul-15	K-400.24	56	$\phi$ 15 x 30	12.94	45.2	5.0	24.84
13	06-May-15	01-Jul-15	K-400.27	56	$\phi$ 15 x 30	12.93	35.6	-4.6	20.81
14	08-May-15	06-Jul-15	K-400.4	59	$\phi$ 15 x 30	12.82	41.3	1.1	1.21
15	08-May-15	06-Jul-15	K-400.5	59	$\phi$ 15 x 30	12.91	39.0	-1.2	1.52
16	08-May-15	06-Jul-15	K-400.6	59	$\phi$ 15 x 30	12.75	36.8	-3.3	11.16
17	08-May-15	06-Jul-15	K-400.7	59	$\phi$ 15 x 30	12.80	37.7	-2.5	6.02
18	08-May-15	06-Jul-15	K-400.8	59	$\phi$ 15 x 30	12.70	40.2	0.0	0.00
19	08-May-15	06-Jul-15	K-400.9	59	$\phi$ 15 x 30	12.65	40.0	-0.2	0.05
20	08-May-15	06-Jul-15	K-400.10	59	$\phi$ 15 x 30	12.72	42.4	2.2	4.88
21	08-May-15	06-Jul-15	K-400.11	59	$\phi$ 15 x 30	12.70	33.7	-6.4	41.58
22	08-May-15	06-Jul-15	K-400.12	59	$\phi$ 15 x 30	12.75	41.3	1.1	1.21
23	08-May-15	06-Jul-15	K-400.13	59	$\phi$ 15 x 30	12.80	45.6	5.4	29.46
24	14-May-15	02-Jul-15	K-400.1	49	$\phi$ 15 x 30	12.58	44.1	3.9	15.00
25	14-May-15	02-Jul-15	K-400.2	49	$\phi$ 15 x 30	12.60	44.5	4.3	18.64
26	14-May-15	02-Jul-15	K-400.3	49	$\phi$ 15 x 30	12.65	48.5	8.3	69.11
27	14-May-15	01-Jul-15	K-400.5	48	$\phi$ 15 x 30	12.81	50.7	10.5	110.95
28	14-May-15	02-Jul-15	K-400.7	49	$\phi$ 15 x 30	12.78	46.0	5.8	33.18
29	14-May-15	02-Jul-15	K-400.8	49	$\phi$ 15 x 30	12.85	43.5	3.3	11.01
30	14-May-15	02-Jul-15	K-400.9	49	$\phi$ 15 x 30	12.72	44.6	4.4	19.61
31	14-May-15	01-Jul-15	K-400.10	48	$\phi$ 15 x 30	12.92	51.8	11.6	135.56
32	14-May-15	02-Jul-15	K-400.11	49	$\phi$ 15 x 30	12.80	46.7	6.5	42.74
33	14-May-15	02-Jul-15	K-400.13	49	$\phi$ 15 x 30	12.75	40.2	0.0	0.00
34	14-May-15	02-Jul-15	K-400.14	49	$\phi$ 15 x 30	12.80	38.4	-1.8	3.19

## BETON OVERTOPPING ( K-300 )

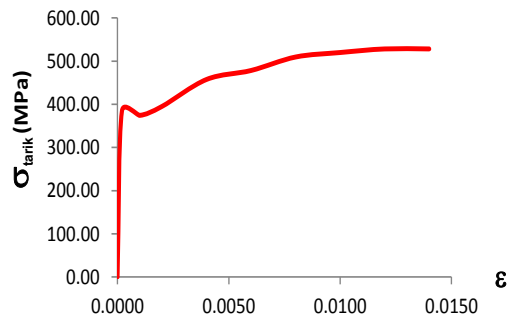
Komponen Beton Monolit dan Overtopping

No	TANGGAL		Keterangan	Umur	Ukuran	Berat	Tegangan Hancur ( $X_i$ )	$X_i - X_r$	$(X_i - X_r)^2$
	Pembuatan	Pengujian	Kode BU	Hari	cm	Kg	MPa	MPa	
1	14-May-15	02-Jul-15	K-300.4	49	$\phi$ 15 x 30	12.62	30.1	-7.2	51.81
2	14-May-15	02-Jul-15	K-300.5	49	$\phi$ 15 x 30	12.71	42.1	4.8	22.93
3	28-May-15	10-Jul-15	K-300.1	43	$\phi$ 15 x 30	12.65	29.5	-7.8	60.11
4	28-May-15	10-Jul-15	K-300.2	43	$\phi$ 15 x 30	12.81	33.5	-3.8	14.12
5	28-May-15	10-Jul-15	K-300.3	43	$\phi$ 15 x 30	12.78	30.3	-7.0	48.67
6	28-May-15	10-Jul-15	K-300.4	43	$\phi$ 15 x 30	12.65	36.8	-0.4	0.18
7	28-May-15	10-Jul-15	K-300.5	43	$\phi$ 15 x 30	12.65	35.1	-2.2	4.86
8	28-May-15	10-Jul-15	K-300.6	43	$\phi$ 15 x 30	12.81	32.5	-4.8	22.62
9	28-May-15	10-Jul-15	K-300.7	43	$\phi$ 15 x 30	12.75	33.3	-4.0	15.84
10	28-May-15	10-Jul-15	K-300.8	43	$\phi$ 15 x 30	12.85	31.5	-5.8	33.12
11	28-May-15	10-Jul-15	K-300.9	43	$\phi$ 15 x 30	12.72	26.1	-11.2	125.30
12	29-May-15	03-Jul-15	K-300.1	35	$\phi$ 15 x 30	12.65	39.5	2.2	5.00
13	29-May-15	03-Jul-15	K-300.2	35	$\phi$ 15 x 30	12.60	42.5	5.2	27.38
14	29-May-15	03-Jul-15	K-300.3	35	$\phi$ 15 x 30	12.54	35.6	-1.6	2.72
15	29-May-15	03-Jul-15	K-300.4	35	$\phi$ 15 x 30	12.60	32.6	-4.6	21.58
16	29-May-15	03-Jul-15	K-300.5	35	$\phi$ 15 x 30	12.70	32.9	-4.4	19.57
17	03-Jun-15	06-Jul-15	K-300.1	33	$\phi$ 15 x 30	12.71	36.7	-0.5	0.29
18	03-Jun-15	06-Jul-15	K-300.2	33	$\phi$ 15 x 30	12.58	39.5	2.2	5.00
19	03-Jun-15	06-Jul-15	K-300.3	33	$\phi$ 15 x 30	12.60	42.3	5.0	25.11
20	03-Jun-15	06-Jul-15	K-300.4	33	$\phi$ 15 x 30	12.93	38.7	1.5	2.13
21	03-Jun-15	06-Jul-15	K-300.5	33	$\phi$ 15 x 30	12.94	37.0	-0.3	0.10
22	03-Jun-15	06-Jul-15	K-300.6	33	$\phi$ 15 x 30	12.90	44.2	6.9	47.58
23	03-Jun-15	06-Jul-15	K-300.7	33	$\phi$ 15 x 30	12.97	38.0	0.7	0.47
24	03-Jun-15	06-Jul-15	K-300.8	33	$\phi$ 15 x 30	12.92	40.4	3.1	9.76
25	03-Jun-15	06-Jul-15	K-300.9	33	$\phi$ 15 x 30	12.96	38.0	0.7	0.47
26	03-Jun-15	06-Jul-15	K-300.10	33	$\phi$ 15 x 30	12.90	38.8	1.6	2.47
						$X_r =$	37.3	$(X_i - X_r)^2 =$	569.18

## Lampiran 2 : Hasil pengujian baja tulangan

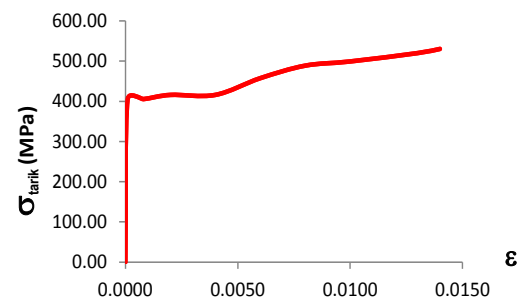
### Baja Tulangan 8 mm (Benda Uji 1)

Gaya (Kg)	$\Delta L$	Dia (cm)	Luas (Cm <sup>2</sup> )	Tegangan (Mpa)	Regangan
0	0	0	0.00	0.00	0.0000
1850	0.1	0.79	0.49	384.73	0.0002
1800	0.5	0.79	0.49	374.33	0.0010
1900	1	0.79	0.49	395.13	0.0020
2200	2	0.79	0.49	457.52	0.0040
2300	3	0.79	0.49	478.32	0.0060
2450	4	0.79	0.49	509.51	0.0080
2500	5	0.79	0.49	519.91	0.0100
2540	6	0.79	0.49	528.23	0.0120
2540	7	0.79	0.49	528.23	0.0140



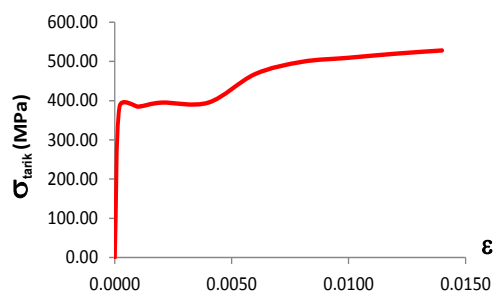
### Baja Tulangan 8 mm (Benda Uji 2)

Gaya (Kg)	$\Delta L$	Dia (cm)	Luas (Cm <sup>2</sup> )	Tegangan (Mpa)	Regangan
0	0	0	0.00	0.00	0.0000
1950	0.05	0.79	0.49	405.53	0.0001
1950	0.4	0.79	0.49	405.53	0.0008
2000	1	0.79	0.49	415.93	0.0020
2200	2	0.79	0.49	415.93	0.0040
2350	3	0.79	0.49	457.52	0.0060
2400	4	0.79	0.49	488.71	0.0080
2500	5	0.79	0.49	499.11	0.0100
2550	6.5	0.79	0.49	519.91	0.0130
2550	7	0.79	0.49	530.31	0.0140



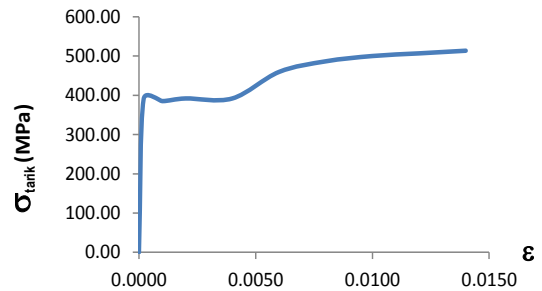
### Baja Tulangan 8 mm (Benda Uji 3)

Gaya (Kg)	$\Delta L$	Dia (cm)	Luas (Cm <sup>2</sup> )	Tegangan (Mpa)	Regangan
0	0	0	0.00	0.00	0.0000
1850	0.1	0.79	0.49	384.73	0.0002
1850	0.5	0.79	0.49	384.73	0.0010
1900	1	0.79	0.49	395.13	0.0020
2250	2	0.79	0.49	395.13	0.0040
2400	3	0.79	0.49	467.92	0.0060
2450	4	0.79	0.49	499.11	0.0080
2500	5	0.79	0.49	509.51	0.0100
2540	6	0.79	0.49	519.91	0.0120
2540	7	0.79	0.49	528.23	0.0140



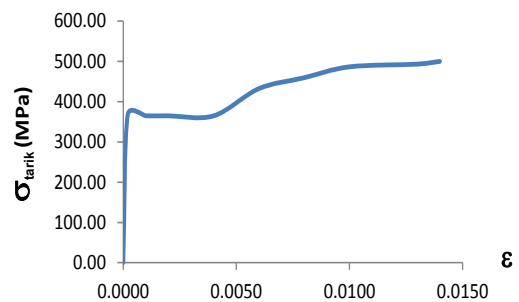
### Baja Tulangan 10 mm (Benda Uji 1)

Gaya (Kg)	$\Delta L$	Dia (cm)	Luas (Cm <sup>2</sup> )	Tegangan (Mpa)	Regangan
0	0	0	0.00	0.00	0.0000
2890	0.1	0.98	0.75	390.56	0.0002
2850	0.5	0.98	0.75	385.15	0.0010
2900	1	0.98	0.75	391.91	0.0020
3400	2	0.98	0.75	391.91	0.0040
3600	3	0.98	0.75	459.48	0.0060
3700	4	0.98	0.75	486.51	0.0080
3750	5	0.98	0.75	500.02	0.0100
3800	6	0.98	0.75	506.78	0.0120
3880	7	0.98	0.75	513.54	0.0140



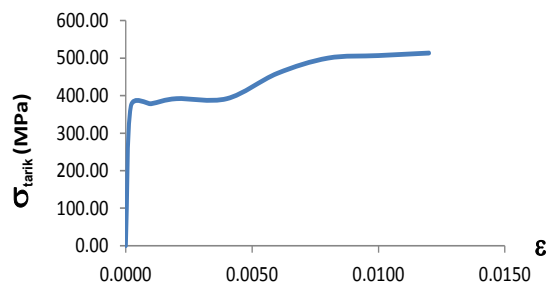
### Baja Tulangan 10 mm (Benda Uji 1)

Gaya (Kg)	$\Delta L$	Dia (cm)	Luas (Cm <sup>2</sup> )	Tegangan (Mpa)	Regangan
0	0	0	0.00	0.00	0.0000
2720	0.1	0.98	0.75	367.59	0.0002
2700	0.5	0.98	0.75	364.88	0.0010
2700	1	0.98	0.75	364.88	0.0020
3200	2	0.98	0.75	364.88	0.0040
3400	3	0.98	0.75	432.45	0.0060
3600	4	0.98	0.75	459.48	0.0080
3650	5	0.98	0.75	486.51	0.0100
3700	6.5	0.98	0.75	493.27	0.0130
3720	7	0.98	0.75	500.02	0.0140



### Baja Tulangan 10 mm (Benda Uji 1)

Gaya (Kg)	$\Delta L$	Dia (cm)	Luas (Cm <sup>2</sup> )	Tegangan (Mpa)	Regangan
0	0	0	0.00	0.00	0.0000
2750	0.1	0.98	0.75	371.64	0.0002
2800	0.5	0.98	0.75	378.40	0.0010
2900	1	0.98	0.75	391.91	0.0020
3400	2	0.98	0.75	391.91	0.0040
3700	3	0.98	0.75	459.48	0.0060
3750	4	0.98	0.75	500.02	0.0080
3800	5	0.98	0.75	506.78	0.0100
3900	6	0.98	0.75	513.54	0.0120



# HASIL TEKAN BENDA UJI CORE DRILL

Permintaan dari : Djoko Irawan  
Tanggal test : 14 Januari 2016  
Proyek : Benda Uji Disertasi

Jumlah 9 (Sembilan) benda uji Core Drill

## Lampiran 3 : Hasil pengujian core drill

No.	Uraian	Satuan	Core 1	Core 2	Core 3	Core 4	Core 5	Core 6	Core 7	Core 8	Core 9
1	Kode		BU-1 MONOLIT	BU-2 TRIANGULAR PRECAST	BU-2 TRIANGULAR OVERTOPPING	BU-3 RECTANGULAR PRECAST	BU-3 RECTANGULAR OVERTOPPING	BU-4 TRIANGULAR PRECAST	BU-5 MONOLIT 2	BU-8 RECTANGULAR OVERTOPPING	BU-9 MONOLIT
2	Tanggal buat		-	-	-	-					-
3	Tanggal Test		14 Januari 2016	14 Januari 2016	14 Januari 2016	14 Januari 2016	14 Januari 2016	14 Januari 2016	14 Januari 2016	14 Januari 2016	14 Januari 2016
4	Umur	hari	-	-	-	-					-
5	Diameter, D	mm	70	70	70	70	70	70	70	70	70
6	Tinggi, L	mm	140	140	140	123	123	140	140	140	140
7	Berat	gram	1270.70	1298.17	1333.14	1141.25	1168.64	1267.44	1262.95	1306.50	1274.92
8	Berat jenis	ton/m <sup>3</sup>	2.36	2.41	2.48	2.41	2.47	2.35	2.35	2.43	2.37
9	Beban Tekan Maksimum, P	kg	18542.90	18528.60	12649.30	17451.50	21359.90	18735.70	17316.10	18735.70	18965.10
10	Luas Penampang Beton, A	cm <sup>2</sup>	38.48	38.48	38.48	38.48	38.48	38.48	38.48	38.48	38.48
11	P / A (silinder cor)	kg/cm <sup>2</sup>	481.83	481.46	328.69	453.47	555.03	486.84	449.95	486.84	492.80
12	L / D		2.00	2.00	2.00	1.75	1.75	2.00	2.00	2.00	2.00
13	Faktor Koreksi Karena L / D, K 1		1.000	1.000	1.000	0.980	0.980	1.000	1.000	1.000	1.000
14	Tulangan Melintang φ r	mm	10/8	10	8	10	8	10	-	8	-
	h	mm	25/39	58	56	55	48	48	-	22	-
15	Faktor Koreksi Tulangan, K 2		1.09	1.09	1.07	1.10	1.07	1.07	1.00	1.03	1.00
16	Compressive Strength										
16.a	Silinder Ø 7 cm	kg/cm <sup>2</sup>	523.26	524.21	351.23	486.97	580.31	522.62	449.95	499.93	492.80
16.b	Silinder Ø 15-30 cm (16.a / 1.06)	kg/cm <sup>2</sup>	493.65	494.54	331.35	459.41	547.47	493.04	424.48	471.64	464.90
		Mpa	50.32	50.41	33.78	46.83	55.81	50.26	43.27	48.08	47.39
16.c	Kubus 15x15x15 cm (16.b / 0.83)	kg/cm <sup>2</sup>	594.75	595.83	399.22	553.50	659.60	594.02	511.42	568.24	560.13

***Halaman ini sengaja dikosongkan***



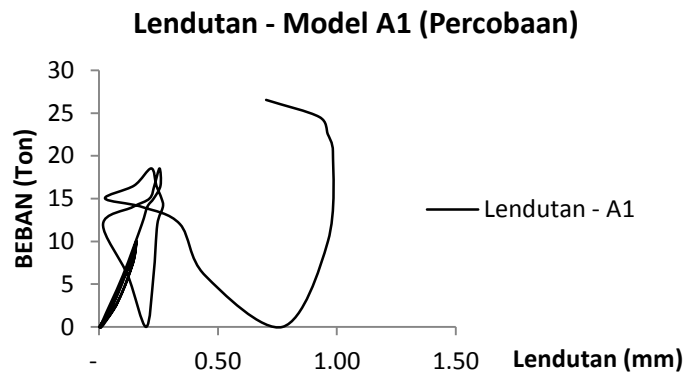
## Lampiran 4 : Hasil pengujian di laboratorium

Tabel L4. 1 Lendutan benda uji hasil percobaan

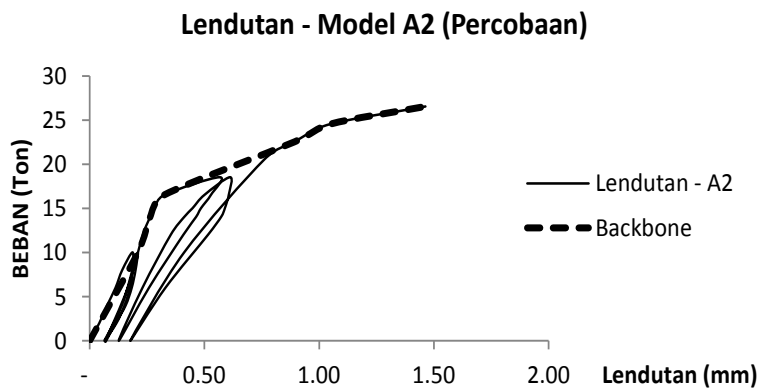
STEP	LOAD			LENDUTAN - MODEL A			LENDUTAN - MODEL B			LENDUTAN - MODEL C		
	Psi	Mpa	Ton	LVDT 0/Defl			LVDT 8/Defl			LVDT 8/Defl		
				07/09	22/09	30/09	17/09	23/09	29/09	14/09	18/09	25/09
				A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
				mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1	0	0	0	-	-	-		-	-	-	-	-
2	400	0.49	2.00	0.05	0.04	0.04		0.04	0.03	0.11	0.03	0.03
3	800	0.98	4.01	0.08	0.08	0.08		0.08	0.06	0.23	0.05	0.06
4	1200	1.47	6.01	0.11	0.11	0.12		0.11	0.09	0.39	0.08	0.09
5	1600	1.97	8.01	0.14	0.14	0.15		0.16	0.12	0.52	0.11	0.12
6	2000	2.46	10.02	0.16	0.19	0.18		0.22	0.14	0.72	0.14	0.15
7	1600	1.97	8.01	0.15	0.19	0.18		0.22	0.14	0.70	0.14	0.14
8	1200	1.47	6.01	0.13	0.18	0.16		0.20	0.12	0.61	0.13	0.12
9	800	0.98	4.01	0.10	0.15	0.13		0.16	0.10	0.51	0.10	0.10
10	400	0.49	2.00	0.06	0.12	0.09		0.11	0.08	0.39	0.08	0.07
11	0	0.00	0.00	0.01	0.06	0.05		0.06	0.05	0.25	0.04	0.04
12	400	0.49	2.00	0.05	0.11	0.08		0.11	0.07	0.36	0.07	0.06
13	800	0.98	4.01	0.08	0.14	0.12		0.16	0.09	0.46	0.09	0.09
14	1200	1.47	6.01	0.11	0.17	0.14		0.19	0.11	0.56	0.11	0.11
15	1600	1.97	8.01	0.14	0.19	0.17		0.22	0.13	0.66	0.13	0.14
16	2000	2.46	10.02	0.16	0.21	0.19		0.24	0.15	0.75	0.15	0.16
17	1600	1.97	8.01	0.15	0.20	0.18		0.24	0.14	0.72	0.15	0.15
18	1200	1.47	6.01	0.12	0.18	0.16		0.22	0.13	0.63	0.13	0.13
19	800	0.98	4.01	0.10	0.16	0.13		0.18	0.10	0.53	0.11	0.10
20	400	0.49	2.00	0.06	0.11	0.10		0.13	0.08	0.41	0.08	0.07
21	0	0.00	0.00	0.01	0.07	0.05		0.06	0.05	0.27	0.04	0.04
22	1200	1.47	6.01	0.10	0.17	0.15		0.20	0.12	0.58	0.11	0.12
23	2400	2.95	12.02	0.18	0.23	0.21		0.29	0.18	0.92	0.19	0.22
24	2800	3.44	14.02	0.20	0.26	0.24		0.33	0.21	1.16	0.23	0.39
25	3000	3.68	15.02	0.23	0.28	0.30		0.35	0.23	2.12	0.25	0.43
26	3300	4.05	16.53	0.26	0.33	0.38		0.42	0.28	2.56	0.30	0.52
27	3700	4.54	18.53	0.25	0.57	0.56		0.61	0.51	2.59	0.56	0.93
28	3300	4.05	16.53	0.23	0.53	0.57		0.62	0.50	2.51	0.55	0.95
29	3000	3.68	15.02	0.21	0.49	0.56		0.61	0.46	2.37	0.52	0.93
30	2800	3.44	14.02	0.14	0.46	0.53		0.60	0.44	1.85	0.50	0.91
31	2400	2.95	12.02	0.02	0.41	0.50		0.56	0.39	1.08	0.45	0.88
32	1200	1.47	6.01	0.12	0.26	0.38		0.41	0.26	1.58	0.30	0.72
33	0	0.00	0.00	0.20	0.13	0.19		0.24	0.13	2.10	0.13	0.47
34	1200	1.47	6.01	0.23	0.23	0.33		0.41	0.23	2.18	0.27	0.61
35	2400	2.95	12.02	0.25	0.35	0.46		0.53	0.34	2.49	0.42	0.80
36	2800	3.44	14.02	0.27	0.41	0.50		0.57	0.39	2.72	0.47	0.86
37	3000	3.68	15.02	0.26	0.45	0.52		0.58	0.41	2.73	0.51	0.89
38	3300	4.05	16.53	0.24	0.50	0.55		0.61	0.46	2.64	0.55	0.93
39	3700	4.54	18.53	0.22	0.61	0.61		0.67	0.57	2.50	0.61	1.00
40	3300	4.05	16.53	0.15	0.61	0.62		0.67	0.56	1.96	0.57	1.00
41	3000	3.68	15.02	0.03	0.59	0.61		0.65	0.53	1.12	0.54	0.97
42	2800	3.44	14.02	0.18	0.57	0.58		0.64	0.50	2.02	0.51	0.96
43	2400	2.95	12.02	0.34	0.52	0.55		0.61	0.45	3.16	0.46	0.92
44	1200	1.47	6.01	0.45	0.33	0.41		0.46	0.29	4.09	0.31	0.75
45	0	0.00	0.00	0.77	0.18	0.21		0.26	0.16	4.86	0.16	0.50
46	2000	2.46	10.02	0.96	0.41	0.46		0.53	0.37	6.20	0.37	0.80
47	4100	5.04	20.53	0.98	0.76	0.79		0.77	0.66	6.36	0.62	1.19
48	4500	5.53	22.53	0.96	0.89	1.01		0.90	0.76	6.36	0.76	1.51
49	4900	6.02	24.54	0.93	1.05	1.37		1.06	0.75	6.26	1.09	1.87
50	5300	6.51	26.54	0.70	1.46	1.81		1.29	0.89	5.30	2.32	2.25

Tabel L4.1 (Lanjutan)

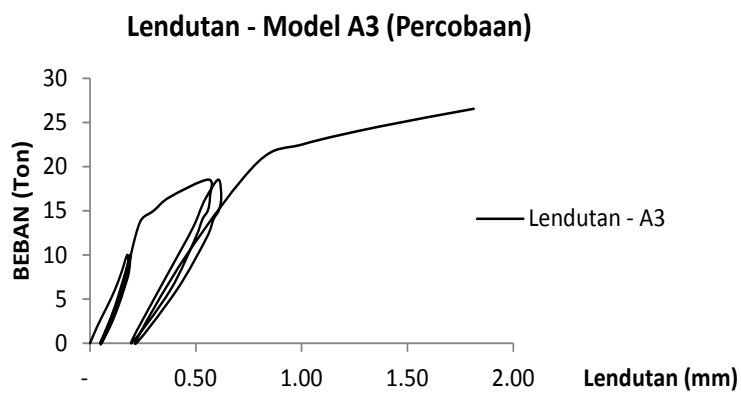
STEP	LOAD			LENDUTAN - MODEL A			LENDUTAN - MODEL B			LENDUTAN - MODEL C		
	Psi	Mpa	Ton	LVDT 0/Defl			LVDT 8/Defl			LVDT 8/Defl		
				07/09	22/09	30/09	17/09	23/09	29/09	14/09	18/09	25/09
				A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
				mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
51	4900	6.02	24.54	0.37	1.51	1.83		1.30	0.90	3.79	2.37	2.29
52	4500	5.53	22.53	0.61	1.51	1.80		1.29	0.87	4.75	2.37	2.28
53	4100	5.04	20.53	0.88	1.48	1.74		1.26	0.84	5.93	2.34	2.25
54	2000	2.46	10.02	0.93	1.16	1.32		0.97	0.62	6.14	2.01	1.95
55	0	0.00	0.00	0.98	0.67	0.78		0.56	0.33	6.38	1.47	1.39
56	2000	2.46	10.02	1.07	1.04	1.17		0.89	0.54	7.09	1.80	1.75
57	4100	5.04	20.53	1.07	1.41	1.65		1.21	0.79	7.11	2.21	2.15
58	4500	5.53	22.53	1.05	1.47	1.73		1.26	0.84	7.11	2.28	2.21
59	4900	6.02	24.54	1.01	1.54	1.82		1.32	0.89	7.07	2.36	2.28
60	5300	6.51	26.54	0.77	1.70	1.99		1.43	0.98	6.03	2.66	2.48
61	4900	6.02	24.54	0.40	1.71	1.96		1.45	0.98	4.36	2.69	2.51
62	4500	5.53	22.53	0.78	1.69	1.93		1.43	0.96	5.93	2.68	2.50
63	4100	5.04	20.53	1.49	1.66	1.87		1.40	0.92	9.35	2.64	2.46
64	2000	2.46	10.02	2.10	1.29	1.42		1.10	0.69	13.76	2.31	2.11
65	0	0.00	0.00	2.54	0.80	0.85		0.63	0.36	19.44	1.74	1.55
66	2800	3.44	14.02	3.57	1.36	1.60		1.13	0.70	22.22	2.27	2.12
67	5700	7.00	28.54	3.61	2.07	2.36		2.04	1.21	-	3.66	3.19
68	6100	7.49	30.55	3.60	2.55	3.54		2.78	1.65	-	4.48	4.52
69	6500	7.98	32.55	3.57	3.34	4.76		-	2.41	-	6.13	-
70	6900	8.47	34.55	3.08	4.16	4.94		-	4.09	-	7.11	-
71	6500	7.98	32.55	2.26	4.26	5.03		-	4.08	-	-	-
72	6100	7.49	30.55	2.83	4.24	5.01		-	4.06	-	-	-
73	5700	7.00	28.54	3.43	4.20	4.95		-	4.01	-	-	-
74	2800	3.44	14.02	3.53	3.67	4.29		-	3.52	-	-	-
75	0	0.00	0.00	3.68	2.68	3.13		-	2.71	-	-	-
76	2800	3.44	14.02	4.26	3.29	3.88		-	3.27	-	-	-
77	5700	7.00	28.54	4.27	3.93	4.76		-	3.92	-	-	-
78	6100	7.49	30.55	4.27	4.03	4.91		-	4.02	-	-	-
79	6500	7.98	32.55	4.24	4.19	5.15		-	4.21	-	-	-
80	6900	8.47	34.55	3.69	4.75	5.90		-	5.02	-	-	-
81	6500	7.98	32.55	2.70	4.80	-		-	5.03	-	-	-
82	6100	7.49	30.55	3.63	4.74	-		-	4.99	-	-	-
83	5700	7.00	28.54	5.64	4.66	-		-	4.95	-	-	-
84	2800	3.44	14.02	6.50	4.13	-		-	4.38	-	-	-
85	0	0.00	0.00	-	3.09	-		-	3.46	-	-	-
86	3700	4.54	18.53	-	3.89	-		-	4.33	-	-	-
87	7300	8.97	36.56	-	7.07	-		-	7.59	-	-	-
88	7650	9.40	38.31	-	-	-		-	-	-	-	-



Gambar L4.1 Grafik beban vs lendutan benda uji model-A1

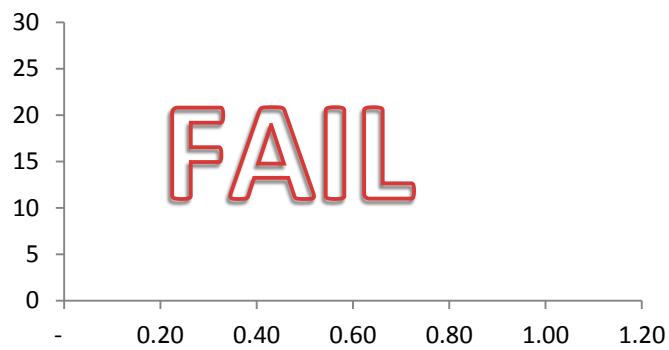


Gambar L4.2 Grafik beban vs lendutan benda uji model-A2



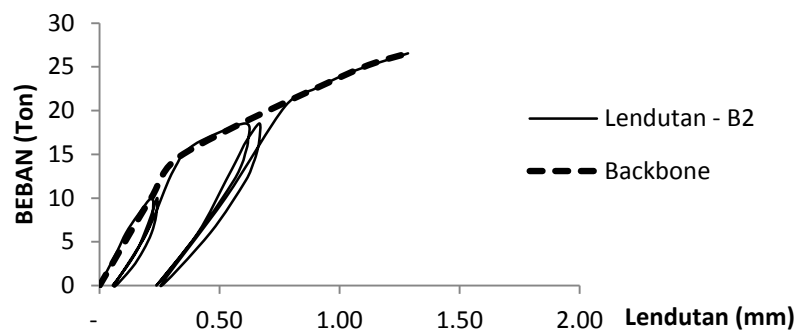
Gambar L4.3 Grafik beban vs lendutan benda uji model-A3

#### Lendutan - Model B1 (Percobaan)



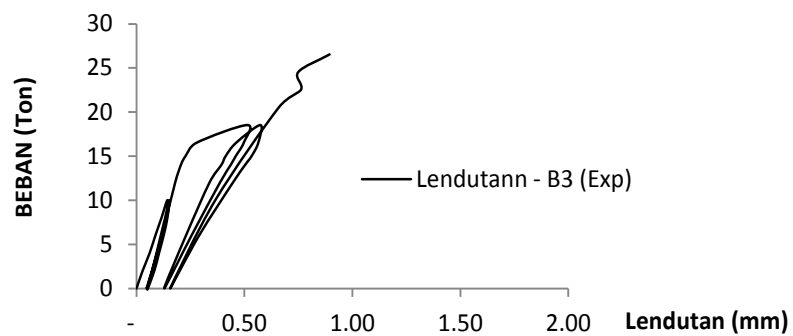
Gambar L4.4 Grafik beban vs lendutan benda uji model-B1

#### Lendutan - Model B2 (Percobaan)

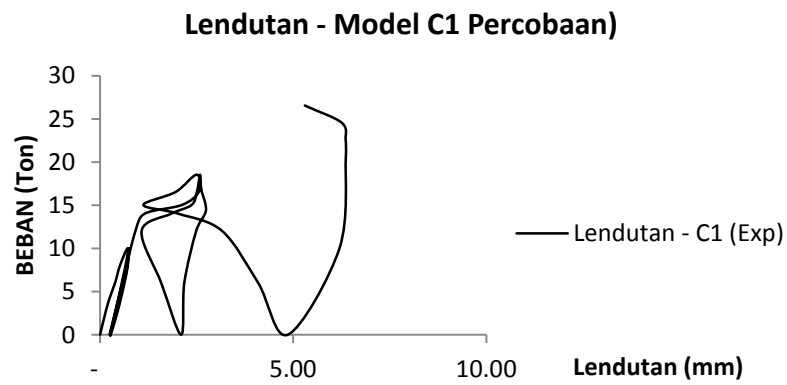


Gambar L4.5 Grafik beban vs lendutan benda uji model-B2

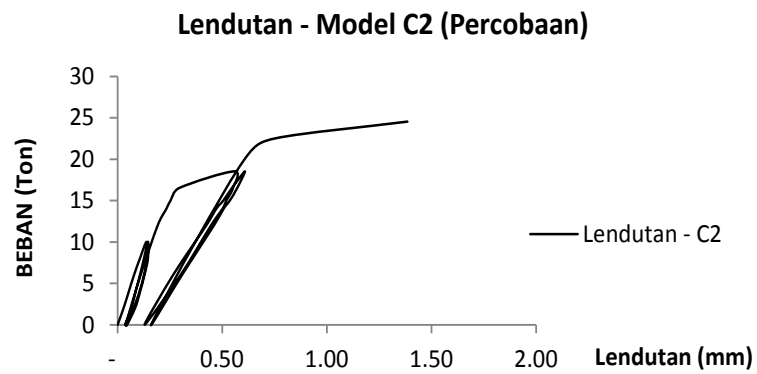
#### Lendutan - Model B3 (Percobaan)



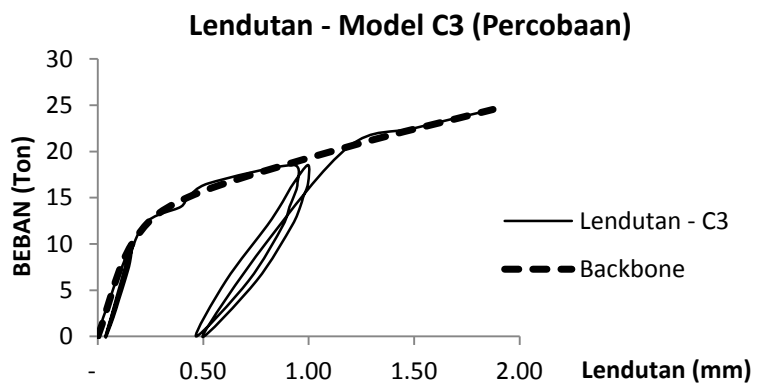
Gambar L4.6 Grafik beban vs lendutan benda uji model-B3



Gambar L4.7 Grafik beban vs lendutan benda uji model- C1



Gambar L4.8 Grafik beban vs lendutan benda uji model- C2



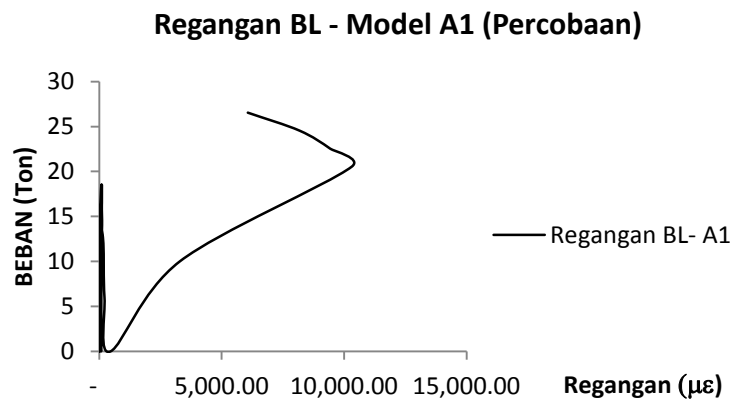
Gambar L4.9 Grafik beban vs lendutan benda uji model- C3

Tabel L4.2 Regangan baja tulangan tarik lapis luar (*Strain gauge* BL)

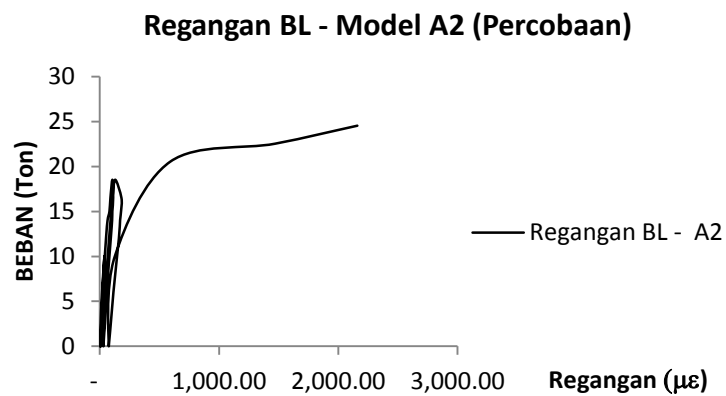
STEP	LOAD			REGANGAN BL - MODEL A			REGANGAN BL - MODEL B			REGANGAN BL - MODEL C		
	Psi	Mpa	Ton	SG 5/BL			SG 3/BL			SG 3/BL		
				07/09	22/09	30/09	17/09	23/09	29/09	14/09	18/09	25/09
				A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
				με	με	με	με	με	με	με	με	με
1	0	0	0	-	-	-		-	-	-	-	-
2	400	0.49	2.00	10.00	6.00	5.00		6.00	6.50	2.50	5.50	8.00
3	800	0.98	4.01	21.20	11.00	11.00		13.00	13.50	5.50	11.50	17.00
4	1200	1.47	6.01	23.60	19.00	16.00		20.50	20.50	10.50	20.00	26.00
5	1600	1.97	8.01	43.00	28.00	22.00		28.00	29.50	15.50	30.00	29.00
6	2000	2.46	10.02	54.00	39.00	28.00		35.50	43.00	22.50	44.00	42.00
7	1600	1.97	8.01	49.20	35.00	27.00		36.50	39.50	23.00	43.00	43.00
8	1200	1.47	6.01	38.20	29.00	22.00		32.00	32.00	19.50	36.00	35.00
9	800	0.98	4.01	26.20	19.00	15.50		25.50	24.50	16.00	27.50	27.00
10	400	0.49	2.00	14.20	14.00	9.00		17.50	16.50	11.50	17.00	19.00
11	0	0.00	0.00	1.60	7.00	2.50		7.50	8.00	6.50	8.50	10.00
12	400	0.49	2.00	11.40	11.00	8.50		14.00	15.00	10.50	15.50	16.00
13	800	0.98	4.01	22.00	16.00	14.00		21.00	21.50	14.50	21.50	23.00
14	1200	1.47	6.01	33.20	23.00	19.00		27.50	29.00	17.00	30.00	30.00
15	1600	1.97	8.01	44.00	30.00	24.00		34.00	36.50	22.50	39.00	38.00
16	2000	2.46	10.02	54.20	39.00	29.50		40.50	45.00	26.50	49.00	49.00
17	1600	1.97	8.01	49.40	36.00	27.50		40.00	41.00	26.00	46.50	47.00
18	1200	1.47	6.01	38.20	29.00	22.50		37.50	33.00	20.50	38.50	38.00
19	800	0.98	4.01	26.60	20.00	16.50		35.00	25.00	17.50	29.00	30.00
20	400	0.49	2.00	14.60	14.00	11.00		20.50	17.00	12.50	20.00	22.00
21	0	0.00	0.00	2.00	8.00	4.00		10.00	8.50	10.50	10.00	11.00
22	1200	1.47	6.01	33.40	24.00	20.00		31.00	30.50	18.00	31.50	33.00
23	2400	2.95	12.02	65.20	52.00	39.00		53.00	61.00	39.00	68.00	70.00
24	2800	3.44	14.02	76.40	65.00	47.00		79.00	95.00	68.50	87.50	81.00
25	3000	3.68	15.02	91.00	81.00	64.50		86.02	127.50	200.00	119.50	136.00
26	3300	4.05	16.53	109.40	89.00	94.00		168.50	213.00	275.50	200.00	248.00
27	3700	4.54	18.53	106.80	105.00	412.00		432.50	431.50	280.50	448.50	441.00
28	3300	4.05	16.53	95.40	112.00	425.00		446.50	434.00	265.00	429.00	450.00
29	3000	3.68	15.02	84.20	105.00	420.00		437.00	417.00	242.00	396.00	430.00
30	2800	3.44	14.02	47.20	103.00	403.00		426.00	397.50	162.00	379.50	410.00
31	2400	2.95	12.02	7.20	92.00	381.50		387.50	353.50	73.50	342.00	379.00
32	1200	1.47	6.01	39.40	58.00	286.00		301.50	207.00	131.00	231.50	262.00
33	0	0.00	0.00	74.60	30.00	142.50		175.00	83.00	206.50	90.00	132.00
34	1200	1.47	6.01	86.40	46.00	217.00		252.00	182.00	228.00	204.50	202.00
35	2400	2.95	12.02	101.20	78.00	335.00		344.50	315.00	267.50	313.50	333.00
36	2800	3.44	14.02	116.20	90.00	370.50		377.00	362.50	310.00	350.00	374.00
37	3000	3.68	15.02	112.80	96.00	386.50		395.00	387.00	312.50	371.00	395.00
38	3300	4.05	16.53	100.00	106.00	416.50		426.00	423.00	292.00	401.50	428.00
39	3700	4.54	18.53	88.00	129.00	481.50		492.00	500.00	266.00	441.00	486.00
40	3300	4.05	16.53	49.80	181.00	502.00		493.00	484.50	170.50	447.00	485.00
41	3000	3.68	15.02	9.20	178.00	493.00		480.00	463.50	73.50	434.00	459.00
42	2800	3.44	14.02	66.80	170.00	473.50		465.00	440.50	196.50	421.00	445.00
43	2400	2.95	12.02	170.00	160.00	447.50		428.50	376.00	430.50	394.50	402.00
44	1200	1.47	6.01	214.80	114.00	320.00		317.00	228.00	744.50	293.50	216.00
45	0	0.00	0.00	463.00	75.00	157.00		176.50	80.00	1,014.00	156.00	119.00
46	2000	2.46	10.02	3,296.20	126.00	344.00		349.50	307.00	1,324.50	335.00	306.00
47	4100	5.04	20.53	10,311.00	590.00	689.00		605.50	661.00	1,281.00	652.50	651.00
48	4500	5.53	22.53	9,434.00	1,469.00	739.00		711.50	736.50	1,272.00	747.50	1,062.00
49	4900	6.02	24.54	8,182.40	2,159.00	1,075.00		858.00	873.00	1,220.00	889.00	1,807.00
50	5300	6.51	26.54	6,067.60	3,909.00	1,329.00		1,259.50	1,196.50	778.50	1,245.00	2,625.00

Tabel L4.2 (Lanjutan)

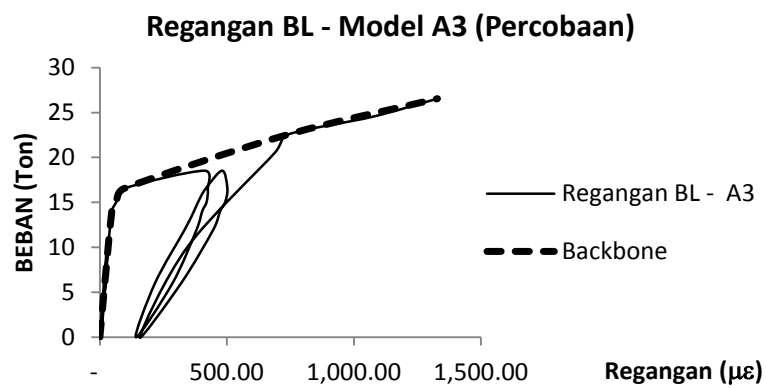
STEP	LOAD			REGANGAN BL - MODEL A			REGANGAN BL - MODEL B			REGANGAN BL - MODEL C		
	Psi	Mpa	Ton	SG 5/BL			SG 3/BL			SG 3/BL		
				07/09	22/09	30/09	17/09	23/09	29/09	14/09	18/09	25/09
				A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
				µε	µε	µε	µε	µε	µε	µε	µε	µε
51	4900	6.02	24.54	4,346.80	5,707.00	1,267.00		1,250.00	860.00	295.00	1,042.50	2,665.00
52	4500	5.53	22.53	6,514.60	5,790.00	1,187.00		1,224.50	800.50	650.50	958.00	2,628.00
53	4100	5.04	20.53	18,099.80	5,672.00	1,080.00		1,199.00	738.00	1,106.00	895.50	2,491.00
54	2000	2.46	10.02	27,643.20	4,913.00	650.50		887.00	366.50	1,197.00	554.00	1,645.00
55	0	0.00	0.00	-	3,974.00	88.50		492.50	23.50	1,289.50	221.00	743.00
56	2000	2.46	10.02	-	4,519.00	511.00		785.50	338.00	1,500.00	427.00	1,458.00
57	4100	5.04	20.53	-	5,401.00	996.00		1,114.00	703.00	1,854.50	822.50	2,336.00
58	4500	5.53	22.53	-	5,551.00	1,080.50		1,168.00	769.00	1,854.50	880.00	2,503.00
59	4900	6.02	24.54	-	5,855.00	1,169.50		1,224.50	835.00	1,834.00	978.50	2,684.00
60	5300	6.51	26.54	-		1,180.00		1,348.50	877.00	1,367.50	994.50	3,275.00
61	4900	6.02	24.54	-		1,154.50		1,424.00	844.50	1,392.50	973.00	14,669.00
62	4500	5.53	22.53	-		1,113.50		1,411.50	791.50	1,417.50	945.00	14,751.00
63	4100	5.04	20.53	-		1,051.00		1,371.50	723.50	2,732.00	865.50	14,612.00
64	2000	2.46	10.02	5,502.40		592.50		1,051.50	374.50	2,564.50	347.00	13,592.00
65	0	0.00	0.00	7,224.40		14.00		652.50	22.50	-	283.50	12,354.00
66	2800	3.44	14.02	6,105.00		665.50		1,105.50	487.50	-	433.00	13,624.00
67	5700	7.00	28.54	3,574.20		1,108.00		2,624.50	875.50	-	-	27,378.00
68	6100	7.49	30.55	3,534.20		2,685.00		2,281.00	2,412.50	-	-	29,130.00
69	6500	7.98	32.55	3,460.20		2,603.50		-	5,814.00	-	-	
70	6900	8.47	34.55	2,431.00		2,353.00		-	-	-	-	
71	6500	7.98	32.55	1,398.00		2,149.00		-	-	-	-	
72	6100	7.49	30.55	2,008.20		2,095.00		-	-	-	-	
73	5700	7.00	28.54	-		1,966.50		-	-	-	-	
74	2800	3.44	14.02	-		1,463.00		-	-	-	-	
75	0	0.00	0.00	-		1,078.50		-	-	-	-	
76	2800	3.44	14.02	-		1,540.50		-	-	-	-	
77	5700	7.00	28.54	-		1,887.50		-	-	-	-	
78	6100	7.49	30.55	-		1,944.00		-	-	-	-	
79	6500	7.98	32.55	-		1,955.00		-	-	-	-	
80	6900	8.47	34.55	1,757.60		1,550.50		-	-	-	-	
81	6500	7.98	32.55	979.40		-		-	-	-	-	
82	6100	7.49	30.55	2,634.00		-		-	-	-	-	
83	5700	7.00	28.54	-		-		-	-	-	-	
84	2800	3.44	14.02	-		-		-	-	-	-	
85	0	0.00	0.00	-		-		-	-	-	-	
86	3700	4.54	18.53	-		-		-	-	-	-	
87	7300	8.97	36.56	-		-		-	-	-	-	
88	7650	9.40	38.31	-		-		-	-	-	-	



Gambar L4.10 Grafik beban vs regangan BL benda uji model-A1

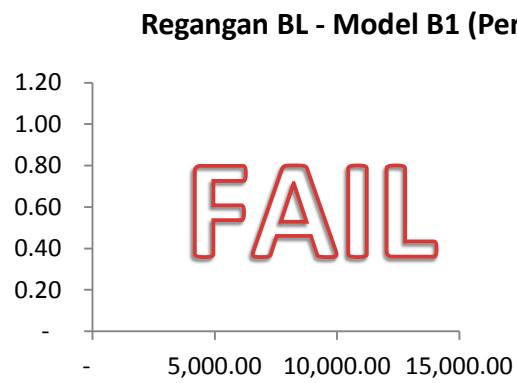


Gambar L4.11 Grafik beban vs regangan BL benda uji model-A2

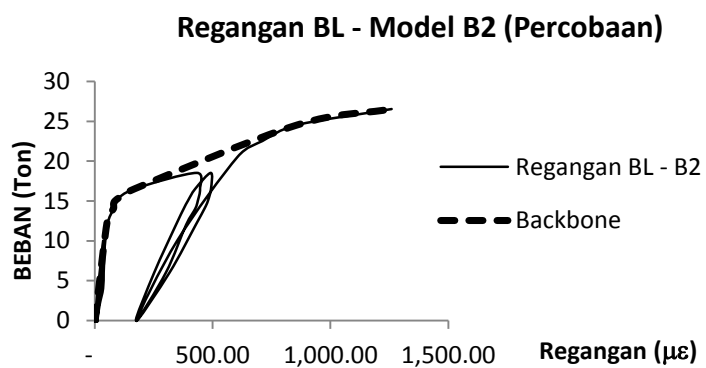


Gambar L4.12 Grafik beban vs regangan BL benda uji model-A3

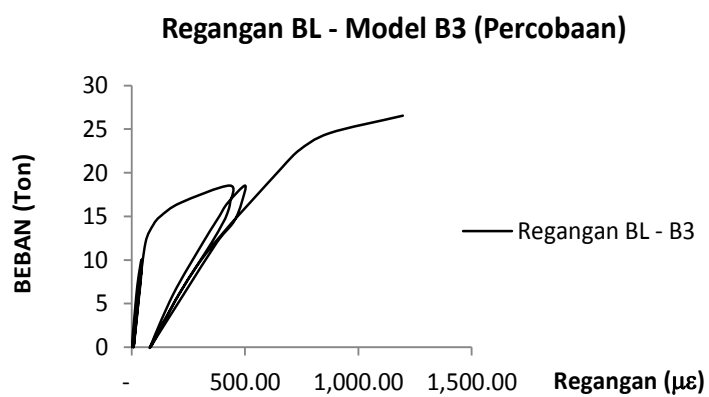




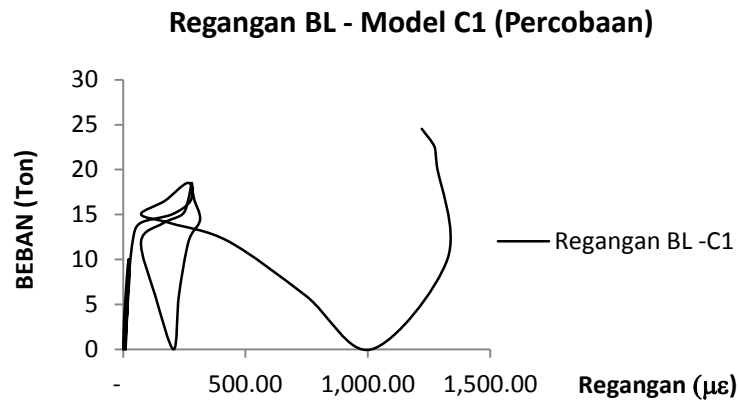
Gambar L4.13 Grafik beban vs regangan BL benda uji model B-1



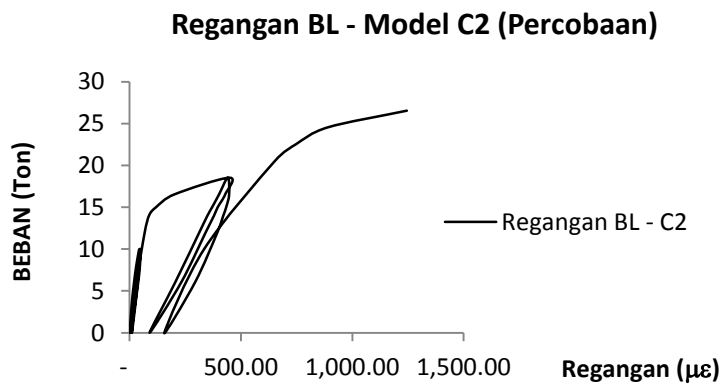
Gambar L4.14 Grafik beban vs regangan BL benda uji model B-2



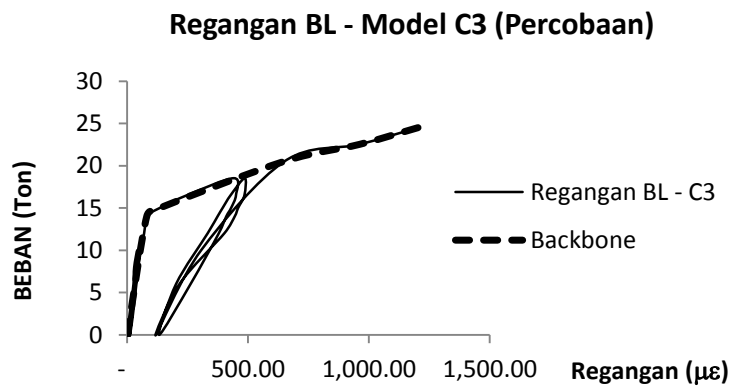
Gambar L4.15 Grafik beban vs regangan BL benda uji model B-3



Gambar L4.16 Grafik beban vs regangan BL benda uji model -C1



Gambar L4.17 Grafik beban vs regangan BL benda uji model-C2



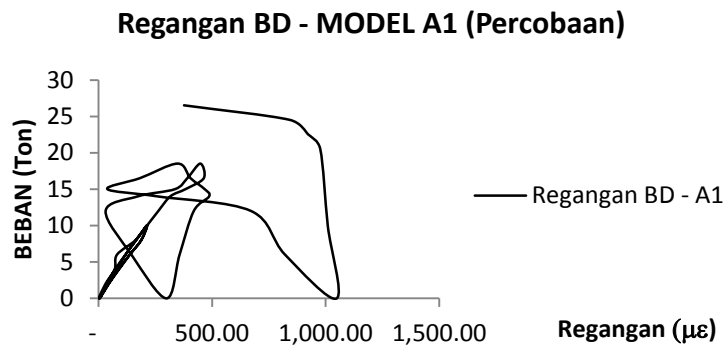
Gambar L4.18 Grafik beban vs regangan BL benda uji model-C3

Tabel L4.3 Regangan baja tulangan tarik lapis dalam (*Strain gauge* BD)

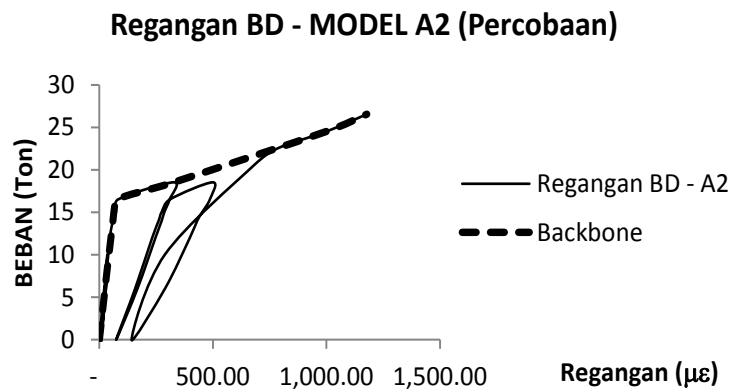
STEP	LOAD			REGANGAN BD - MODEL A			REGANGAN BD - MODEL B			REGANGAN BD - MODEL C		
	Psi	Mpa	Ton	SG (BD)/Ch 6			SG (BD)/Ch 2			SG (BD)/Ch 2		
				07/09	22/09	30/09	17/09	23/09	29/09	14/09	18/09	25/09
				A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
				µε	µε	µε	µε	µε	µε	µε	µε	µε
1	0	0	0	-	-	-		-	-	-	-	-
2	400	0.49	2.00	31.00	6.50	5.00		4.00	3.50	5.10	3.50	6.50
3	800	0.98	4.01	71.50	13.50	10.00		7.50	8.00	10.50	6.80	15.10
4	1200	1.47	6.01	81.50	21.00	16.00		13.00	13.50	16.10	11.50	32.10
5	1600	1.97	8.01	163.50	29.00	22.00		21.50	19.50	25.50	17.80	73.10
6	2000	2.46	10.02	212.50	34.50	29.50		35.00	27.00	40.80	25.50	107.50
7	1600	1.97	8.01	188.00	32.50	27.50		33.50	26.00	41.50	25.50	104.80
8	1200	1.47	6.01	137.50	28.00	21.00		26.50	21.50	34.80	21.80	85.50
9	800	0.98	4.01	89.50	21.50	15.00		19.00	17.00	27.80	17.80	63.10
10	400	0.49	2.00	44.50	15.00	8.50		13.50	12.50	20.80	12.10	41.10
11	0	0.00	0.00	5.00	5.50	3.00		6.00	7.00	14.10	6.50	19.10
12	400	0.49	2.00	35.00	12.00	8.00		10.50	11.50	17.80	11.10	32.10
13	800	0.98	4.01	73.50	18.00	13.50		15.00	15.50	24.10	14.80	53.10
14	1200	1.47	6.01	119.00	24.50	18.50		21.00	19.50	29.80	19.10	73.80
15	1600	1.97	8.01	166.00	29.50	24.50		28.50	24.00	36.80	23.50	93.80
16	2000	2.46	10.02	214.00	35.50	30.50		36.50	28.50	44.50	28.10	116.10
17	1600	1.97	8.01	188.50	33.50	28.00		34.50	27.00	42.80	27.50	109.50
18	1200	1.47	6.01	138.00	29.00	21.50		31.00	23.00	36.80	23.80	88.10
19	800	0.98	4.01	90.50	22.50	16.00		28.00	18.00	31.50	19.10	96.50
20	400	0.49	2.00	45.50	15.00	10.00		15.50	14.00	23.50	14.10	40.10
21	0	0.00	0.00	5.50	5.50	4.50		7.00	8.00	15.10	7.50	18.80
22	1200	1.47	6.01	119.00	26.00	20.50		22.50	21.00	32.80	20.50	78.10
23	2400	2.95	12.02	263.50	46.00	41.00		50.00	39.00	62.80	38.80	181.50
24	2800	3.44	14.02	316.00	59.50	68.50		78.50	50.00	104.50	59.50	422.10
25	3000	3.68	15.02	383.50	73.00	123.50		86.00	70.00	434.80	71.80	496.10
26	3300	4.05	16.53	463.50	83.00	225.00		179.00	104.00	570.80	132.80	581.50
27	3700	4.54	18.53	448.00	327.50	649.50		351.00	289.50	576.10	231.80	1,905.80
28	3300	4.05	16.53	391.00	309.50	663.50		344.50	305.00	534.80	218.80	2,979.50
29	3000	3.68	15.02	337.50	286.00	654.50		329.50	300.00	517.80	204.50	2,947.80
30	2800	3.44	14.02	173.00	274.50	626.50		322.00	294.50	390.80	195.80	2,907.80
31	2400	2.95	12.02	31.50	247.00	590.50		302.00	278.00	206.10	178.50	2,848.10
32	1200	1.47	6.01	145.00	167.50	439.00		206.50	200.50	299.80	106.10	2,643.10
33	0	0.00	0.00	299.00	73.50	235.50		116.50	106.50	435.10	57.10	2,324.80
34	1200	1.47	6.01	357.00	157.00	325.00		182.00	151.50	508.10	105.80	2,521.50
35	2400	2.95	12.02	419.50	232.50	505.50		270.50	239.00	547.50	174.50	2,754.80
36	2800	3.44	14.02	487.00	261.00	565.50		310.00	269.50	611.50	196.50	2,837.10
37	3000	3.68	15.02	467.00	274.00	593.00		328.50	284.50	614.50	208.50	2,873.50
38	3300	4.05	16.53	405.00	311.00	643.50		359.50	309.50	587.50	226.80	2,930.50
39	3700	4.54	18.53	348.50	499.00	744.50		419.00	368.00	552.10	288.80	3,363.80
40	3300	4.05	16.53	182.50	486.50	771.00		421.00	369.50	406.10	300.80	3,760.80
41	3000	3.68	15.02	39.00	453.00	759.00		409.00	363.00	200.10	296.80	3,720.80
42	2800	3.44	14.02	259.50	431.00	730.50		396.00	355.00	411.80	289.80	3,695.10
43	2400	2.95	12.02	671.00	398.50	689.50		362.50	326.50	1,576.50	265.50	3,625.80
44	1200	1.47	6.01	821.00	288.50	490.00		239.00	230.50	-	-	-
45	0	0.00	0.00	1,048.50	141.50	254.50		114.00	108.50	-	-	-
46	2000	2.46	10.02	1,009.00	288.00	509.00		271.00	251.00	-	-	-
47	4100	5.04	20.53	976.00	680.50	1,002.50		553.50	381.50	-	-	-
48	4500	5.53	22.53	923.00	786.00	1,103.50		628.00	481.00	-	-	-
49	4900	6.02	24.54	842.00	1,002.50	1,195.50		935.50	735.00	-	-	-
50	5300	6.51	26.54	376.50	1,178.00	1,297.00		1,304.00	994.50	6,934.10	856.10	-

Tabel L4.3 (Lanjutan)

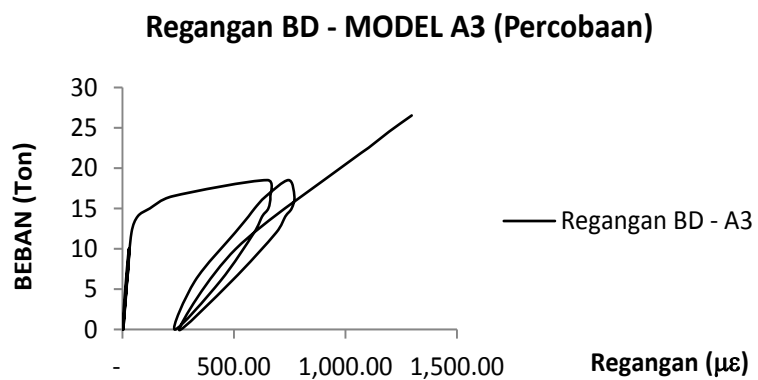
STEP	LOAD			REGANGAN BD - MODEL A			REGANGAN BD - MODEL B			REGANGAN BD - MODEL C		
	Psi	Mpa	Ton	SG (BD)/Ch 6			SG (BD)/Ch 2			SG (BD)/Ch 2		
				07/09	22/09	30/09	17/09	23/09	29/09	14/09	18/09	25/09
				A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
				με	με	με	με	με	με	με	με	με
51	4900	6.02	24.54	348.00	1,129.50	1,238.50		1,125.00	901.50	5,013.10	5,010.80	-
52	4500	5.53	22.53	299.00	1,079.00	1,156.00		1,086.50	873.00	6,732.50	-	-
53	4100	5.04	20.53	807.50	1,029.00	1,087.50		1,047.50	833.00	31,657.80	-	-
54	2000	2.46	10.02	904.00	644.50	685.50		610.50	491.50	35,640.80	-	-
55	0	0.00	0.00	992.50	213.00	233.50		234.50	107.00	53,075.80	-	-
56	2000	2.46	10.02	987.50	576.00	602.00		492.50	439.00			
57	4100	5.04	20.53	969.50	966.00	980.50		915.50	807.00	18,936.50	-	-
58	4500	5.53	22.53	910.00	1,025.50	1,073.50		1,002.50	863.00	18,936.50	-	-
59	4900	6.02	24.54	828.50	1,092.50	1,164.50		1,088.50	920.50	1.60	-	-
60	5300	6.51	26.54	336.50	1,160.00	1,296.50		1,216.50	952.00	4,788.80	-	-
61	4900	6.02	24.54	103.50	1,136.50	1,189.00		1,358.00	945.00	556.80	-	-
62	4500	5.53	22.53	483.50	1,104.00	1,145.50		1,324.50	914.50	5,390.50	-	-
63	4100	5.04	20.53	13,117.00	1,048.00	1,075.50		1,258.00	865.00	-	-	-
64	2000	2.46	10.02	17,250.00	633.50	703.50		797.50	498.00	8,976.50	-	-
65	0	0.00	0.00	20,716.00	291.50	290.00		431.50	188.00	4,056.10	-	-
66	2800	3.44	14.02	11,095.50	740.50	641.00		865.50	573.50	3,511.80	-	-
67	5700	7.00	28.54	10,132.00	1,198.00	1,313.00		1,305.00	1,039.00	-	-	-
68	6100	7.49	30.55	10,047.00	-	3,575.50		3,694.00	1,091.00	-	-	-
69	6500	7.98	32.55	9,838.50	-	3,057.50		-	1,137.00	-	-	-
70	6900	8.47	34.55	7,757.50	-	2,950.00		-	3,756.00	-	-	-
71	6500	7.98	32.55	5,294.50	-	2,768.00		-	3,651.00	-	-	-
72	6100	7.49	30.55	7,022.00	-	2,708.00		-	3,524.50	-	-	-
73	5700	7.00	28.54	17,685.00	-	2,551.00		-	3,397.00	-	-	-
74	2800	3.44	14.02	44,404.50	-	1,689.00		-	2,647.50	-	-	-
75	0	0.00	0.00	40,671.50	-	1,150.00		-	2,171.00	-	-	-
76	2800	3.44	14.02	-	-	1,808.50		-	2,402.50	-	-	-
77	5700	7.00	28.54	-	-	2,541.50		-	2,833.50	-	-	-
78	6100	7.49	30.55	-	-	2,722.50		-	2,944.00			
79	6500	7.98	32.55	-	-	2,828.00		-	3,153.00			
80	6900	8.47	34.55	-	-	1,972.00		-	3,149.50			
81	6500	7.98	32.55	-	-	-		-	3,094.00			
82	6100	7.49	30.55	-	-	-		-	2,983.00			
83	5700	7.00	28.54	-	-	-		-	2,906.50			
84	2800	3.44	14.02	-	-	-		-	2,410.50			
85	0	0.00	0.00	-	-	-		-	2,178.00			
86	3700	4.54	18.53	-	-	-		-	2,023.50			
87	7300	8.97	36.56	-	-	-		-	2,691.00			
88	7650	9.40	38.31	-	-	-		-	-			



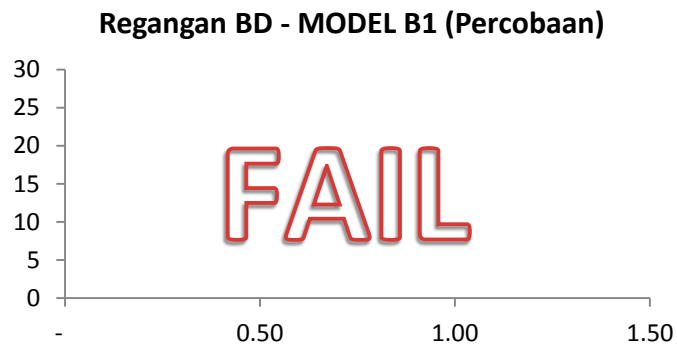
Gambar L4.19 Grafik beban vs regangan BD benda uji model-A1



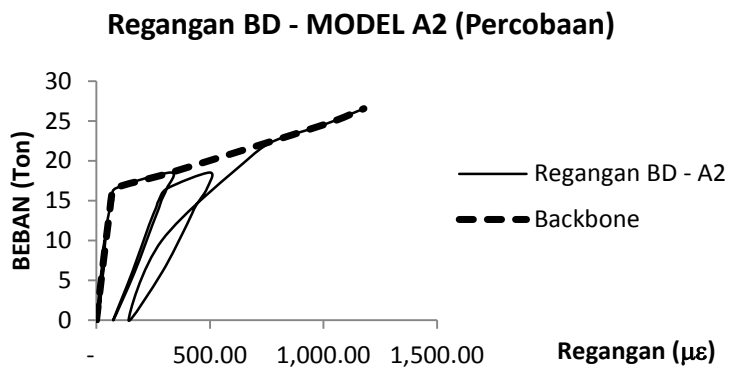
Gambar L4.20 Grafik beban vs regangan BD benda uji model-A2



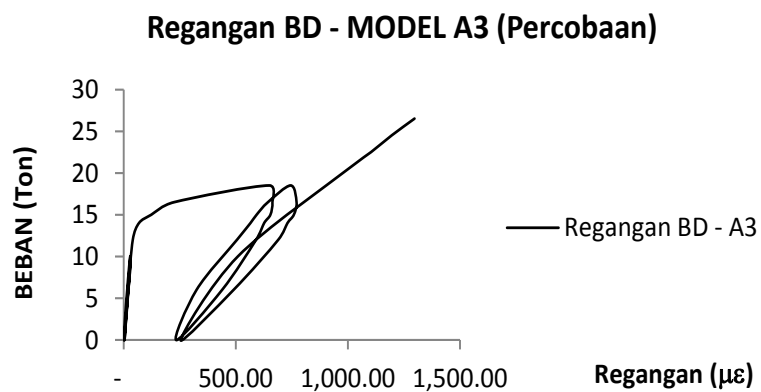
Gambar L4.21 Grafik beban vs regangan BD benda uji model-A3



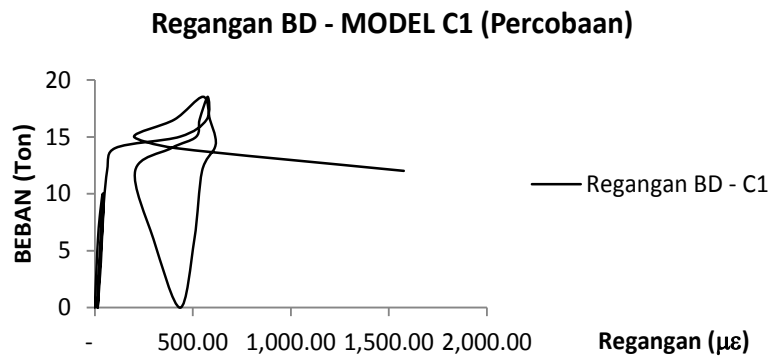
Gambar L4.22 Grafik beban vs regangan BD benda uji model-B1



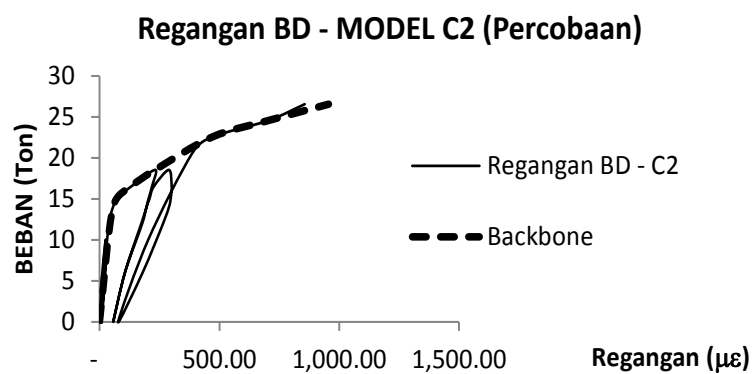
Gambar L4.23 Grafik beban vs regangan BD benda uji model-B2



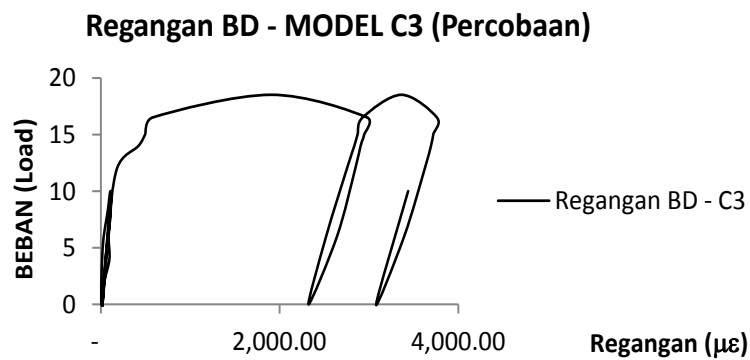
Gambar L4.24 Grafik beban vs regangan BD benda uji model-B2



Gambar L4.25 Grafik beban vs regangan BD benda uji model-C1



Gambar L4.26 Grafik beban vs regangan BD benda uji model-C2



Gambar L4.27 Grafik beban vs regangan BD benda uji model-C3

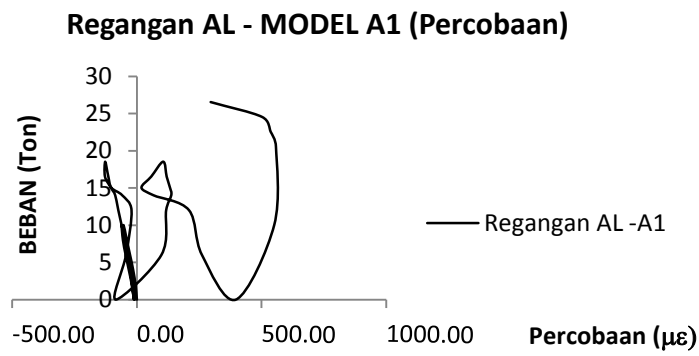
Tabel L4.4 Regangan baja tulangan tekan lapis luar (*Strain gauge* AL)

STEP	LOAD			REGANGAN AL - Model A			REGANGAN AL - Model B			REGANGAN AL - Model C		
	Psi	Mpa	Ton	SG 3/AL			SG 5/AL			SG 5/AL		
				07/09	22/09	30/09	17/09	23/09	29/09	14/09	18/09	25/09
				A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
				me	me	me	με	με	με	με	με	με
1	0	0	0	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	400	0.49	2.00	-5.50	-4.50	-9.00		-5.50	-5.50	-3.50	-6.50	-4.50
3	800	0.98	4.01	-15.00	-7.50	-17.00		-9.00	-10.00	-6.50	-13.00	-9.50
4	1200	1.47	6.01	-27.50	-16.50	-26.00		-14.00	-16.50	-11.00	-19.50	-15.00
5	1600	1.97	8.01	-40.50	-27.00	-34.00		-22.00	-23.50	-17.00	-29.00	-24.00
6	2000	2.46	10.02	-53.50	-40.50	-44.00		-34.00	-30.50	-25.00	-38.50	-33.00
7	1600	1.97	8.01	-50.00	-34.50	-40.00		-31.50	-28.50	-24.50	-37.50	-31.00
8	1200	1.47	6.01	-39.00	-25.50	-32.00		-24.50	-24.00	-20.00	-32.00	-25.50
9	800	0.98	4.01	-27.50	-16.50	-22.00		-16.50	-19.40	-16.00	-24.50	-19.00
10	400	0.49	2.00	-15.50	-6.00	-11.00		-10.50	-12.50	-11.00	-15.50	-13.00
11	0	0.00	0.00	-8.50	-1.50	-1.00		-2.50	-5.50	-5.50	-5.70	-4.50
12	400	0.49	2.00	-12.00	-4.50	-11.00		-8.50	-10.00	-8.50	-13.00	-11.00
13	800	0.98	4.01	-21.50	-7.50	-18.00		-12.50	-15.50	-11.50	-19.00	-16.50
14	1200	1.47	6.01	-34.50	-15.00	-27.00		-18.50	-21.50	-17.00	-26.50	-22.00
15	1600	1.97	8.01	-47.50	-25.50	-35.00		-26.00	-26.00	-21.50	-33.50	-28.00
16	2000	2.46	10.02	-61.00	-37.50	-44.00		-34.50	-31.50	-27.00	-40.00	-34.50
17	1600	1.97	8.01	-56.00	-33.00	-40.00		-31.50	-29.50	-25.50	-38.50	-32.00
18	1200	1.47	6.01	-45.00	-22.50	-32.00		-27.50	-25.50	-20.50	-32.50	-26.50
19	800	0.98	4.01	-32.50	-12.00	-21.00		-24.00	-19.50	-16.00	-24.50	-19.50
20	400	0.49	2.00	-20.50	-4.50	-11.00		-10.50	-12.50	-10.00	-16.50	-13.50
21	0	0.00	0.00	-12.00	-4.50	0.00		-1.50	-6.00	-5.50	-5.50	-5.00
22	1200	1.47	6.01	-36.50	-15.00	-29.00		-18.50	-22.00	-16.00	-27.50	-23.50
23	2400	2.95	12.02	-74.50	-49.50	-52.00		-42.50	-38.00	-34.50	-45.30	-44.00
24	2800	3.44	14.02	-87.00	-64.50	-64.00		-53.50	-48.00	-58.50	-57.60	-52.62
25	3000	3.68	15.02	-104.00	-73.50	-75.00		-60.50	-69.34	-70.50	-70.23	-69.50
26	3300	4.05	16.53	-128.00	-82.23	-53.00		-89.00	-82.00	-83.00	-81.90	-75.50
27	3700	4.54	18.53	-127.00	-97.50	16.00		-109.50	-98.00	-132.00	-116.10	-81.00
28	3300	4.05	16.53	-114.50	-94.50	31.00		-107.00	-93.00	-126.50	-111.00	-82.50
29	3000	3.68	15.02	-102.00	-85.50	35.00		-103.50	-87.50	-119.00	-102.60	-76.50
30	2800	3.44	14.02	-59.00	-82.50	40.00		-99.00	-84.50	-113.00	-98.10	-72.00
31	2400	2.95	12.02	-21.50	-70.50	45.00		-86.00	-76.00	-99.00	-91.20	-64.00
32	1200	1.47	6.01	-43.50	-31.50	59.00		-56.50	-48.50	-53.50	-54.31	-37.00
33	0	0.00	0.00	-84.50	-1.50	72.00		-18.50	-5.00	-6.00	-20.70	-7.00
34	1200	1.47	6.01	98.50	-16.50	53.00		-43.50	-21.50	-16.00	-67.20	-33.50
35	2400	2.95	12.02	117.50	-52.50	45.00		-76.00	-49.50	-37.00	-96.60	-60.00
36	2800	3.44	14.02	138.00	-66.00	44.00		-86.00	-55.50	-43.00	-105.60	-68.50
37	3000	3.68	15.02	133.00	-73.50	43.00		-91.00	-58.50	-46.00	-110.40	-72.50
38	3300	4.05	16.53	119.50	-84.00	43.00		-99.00	-61.50	-45.50	-117.30	-79.00
39	3700	4.54	18.53	105.50	-93.00	62.00		-108.50	-57.75	-42.50	-129.30	-88.50
40	3300	4.05	16.53	57.50	-69.00	73.00		-105.50	-48.75	-34.00	-128.70	-86.50
41	3000	3.68	15.02	18.50	-63.00	77.00		-101.00	-45.75	-30.00	-125.10	-80.00
42	2800	3.44	14.02	66.50	-57.00	80.00		-96.00	-43.50	-29.00	-122.10	-76.00
43	2400	2.95	12.02	209.00	-48.00	84.00		-85.50	-38.25	-25.50	-113.40	-66.50
44	1200	1.47	6.01	261.00	-16.50	94.00		-54.00	-24.75	-14.50	-76.88	-39.00
45	0	0.00	0.00	397.50	-12.00	97.00		-17.50	-0.75	-1.50	-24.30	-4.50
46	2000	2.46	10.02	551.00	-24.00	78.00		-65.00	-43.00	-18.50	-92.70	-52.50
47	4100	5.04	20.53	558.00	-132.00	164.00		-115.00	-83.75	62.50	-135.60	-98.50
48	4500	5.53	22.53	537.00	-161.00	283.00		-116.50	-123.00	122.00	-144.32	-100.50
49	4900	6.02	24.54	502.50	-202.00	605.00		-106.50	-175.50	214.50	-135.58	-93.50
50	5300	6.51	26.54	296.00	-222.33	783.00		-98.50	-295.00	375.00	-121.81	-88.50

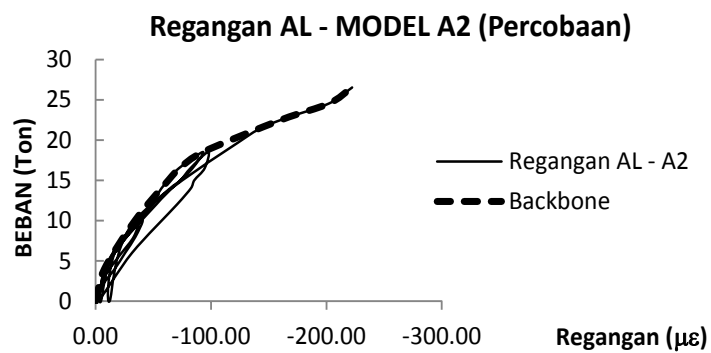


Tabel L4.4 (Lanjutan)

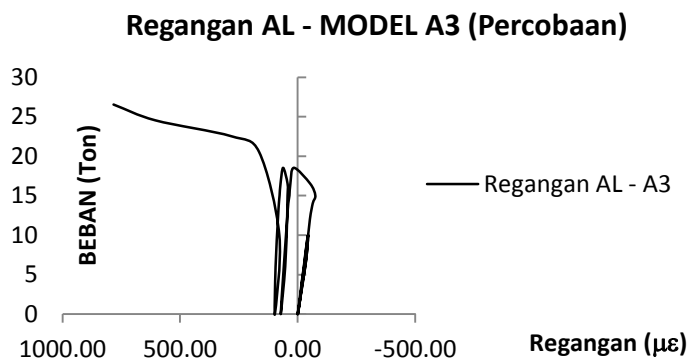
STEP	LOAD			REGANGAN AL - Model A			REGANGAN AL - Model B			REGANGAN AL - Model C		
	Psi	Mpa	Ton	SG 3/AL			SG 5/AL			SG 5/AL		
				07/09	22/09	30/09	17/09	23/09	29/09	14/09	18/09	25/09
				A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
				me	me	me	με	με	με	με	με	με
50	5300	6.51	26.54	296.00	-222.33	783.00		-98.50	-295.00	375.00	-121.81	-88.50
51	4900	6.02	24.54	116.50	-227.67	797.00		-74.50	-152.50	351.00	-117.38	-75.50
52	4500	5.53	22.53	227.00	-223.33	805.00		-69.50	-152.50	323.00	-29.70	-43.00
53	4100	5.04	20.53	436.00	-216.33	808.00		-64.50	-150.00	303.00	-26.40	-36.50
54	2000	2.46	10.02	480.50	-211.33	770.00		-33.50	-116.00	211.00	-21.60	-15.00
55	0	0.00	0.00	526.00	-123.00	397.00		-8.50	-81.00	71.00	-11.40	-5.50
56	2000	2.46	10.02	801.00	-172.33	519.00		-43.00	-85.50	201.50	-27.90	-27.50
57	4100	5.04	20.53	605.00	-257.00	736.00		-61.50	-138.00	283.50	-46.20	-45.50
58	4500	5.53	22.53	575.00	-271.00	756.00		-66.00	-147.00	298.50	-49.50	-50.00
59	4900	6.02	24.54	537.00	-290.67	783.00		-67.50	-160.50	348.50	-49.80	-52.00
60	5300	6.51	26.54	305.50	-344.00	852.00		-59.00	-192.00	395.50	-34.20	-29.00
61	4900	6.02	24.54	110.00	-348.67	859.00		-57.00	-195.50	402.50	-33.60	-24.00
62	4500	5.53	22.53	314.00	-344.33	860.00		-52.50	-194.50	388.50	-32.40	-21.50
63	4100	5.04	20.53	860.50	-334.67	860.00		-47.00	-191.00	347.50	-30.30	-16.50
64	2000	2.46	10.02	965.50	-241.33	775.00		-26.00	-145.50	220.50	-21.60	-7.00
65	0	0.00	0.00	908.50	-143.33	358.00		-14.50	-88.00	81.00	-12.90	-6.00
66	2800	3.44	14.02	950.00	-237.67	647.00		-42.00	-135.00	237.00	-30.60	-19.50
67	5700	7.00	28.54	939.00	-470.00	1112.00		62.00	-291.00	572.00	-21.60	-51.50
68	6100	7.49	30.55	935.00	-590.67	1720.00		217.50	-402.50	672.00	-30.60	-154.50
69	6500	7.98	32.55	890.00	-751.00	1832.00			-590.50	0.00	-29.10	0.00
70	6900	8.47	34.55	379.00	-925.67	1618.00			-766.50	0.00	-192.60	0.00
71	6500	7.98	32.55	8.00	-889.33	1582.00			-766.50	0.00	-292.20	0.00
72	6100	7.49	30.55	359.00	-852.33	1556.00			-759.00	0.00	-330.00	0.00
73	5700	7.00	28.54	854.50	-803.67	1466.00			-746.00	0.00	-332.10	0.00
74	2800	3.44	14.02	933.50	-546.67	579.00			-596.00	0.00	-331.80	0.00
75	0	0.00	0.00	941.00	-322.00	306.00			-362.50	0.00	-276.00	0.00
76	2800	3.44	14.02	955.00	-455.33	498.00			-515.00	0.00	-283.50	0.00
77	5700	7.00	28.54	940.00	-704.67	1367.00			-700.00	0.00	-285.90	0.00
78	6100	7.49	30.55	939.50	-741.67	1514.00			-726.50	0.00	-320.10	0.00
79	6500	7.98	32.55	897.50	-783.33	1595.00			-830.50	0.00	0.00	0.00
80	6900	8.47	34.55	339.00	-873.33	1618.00			-935.00	0.00	0.00	0.00
81	6500	7.98	32.55	93.50	-866.33				-932.00	0.00	0.00	0.00
82	6100	7.49	30.55	430.50	-858.67				-918.50	0.00	0.00	0.00
83	5700	7.00	28.54	957.50	-809.00				-907.00	0.00	0.00	0.00
84	2800	3.44	14.02	859.50	-575.67				-720.00	0.00	0.00	0.00
85	0	0.00	0.00		-347.67				-495.50	0.00	0.00	0.00
86	3700	4.54	18.53		-585.67				-713.00	0.00	0.00	0.00
87	7300	8.97	36.56		-862.00				-1125.00	0.00	0.00	0.00
88	7650	9.40	38.31							0.00	0.00	0.00



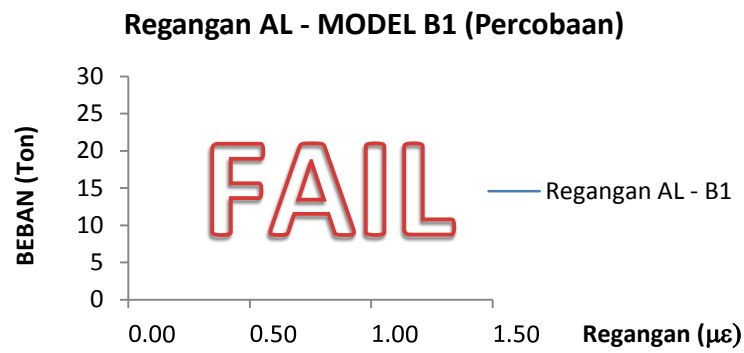
Gambar L4.28 Grafik beban vs regangan AL benda uji model-A1



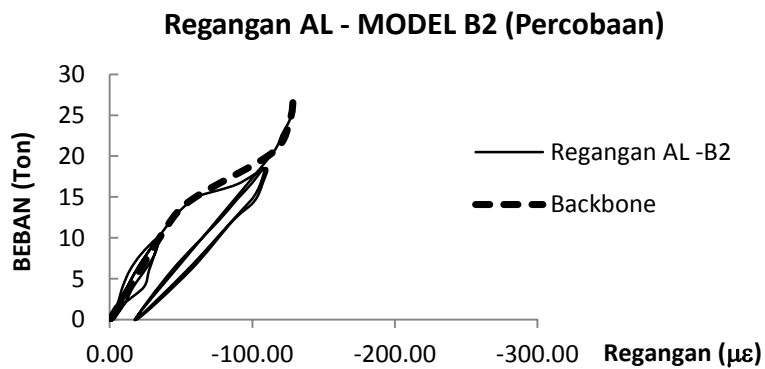
Gambar L4.29 Grafik beban vs regangan AL benda uji model-A2



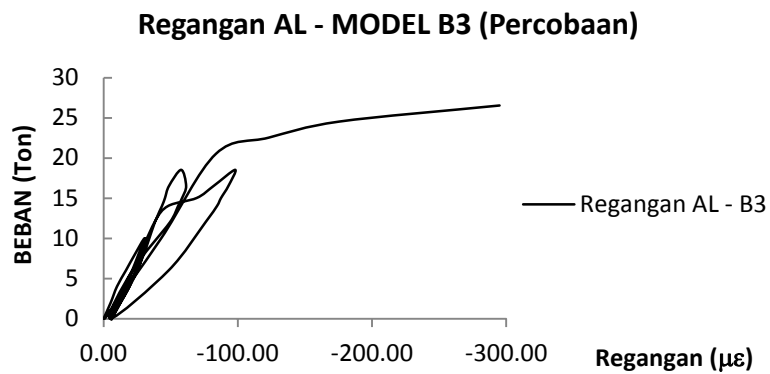
Gambar L4.30 Grafik beban vs regangan AL benda uji model-A3



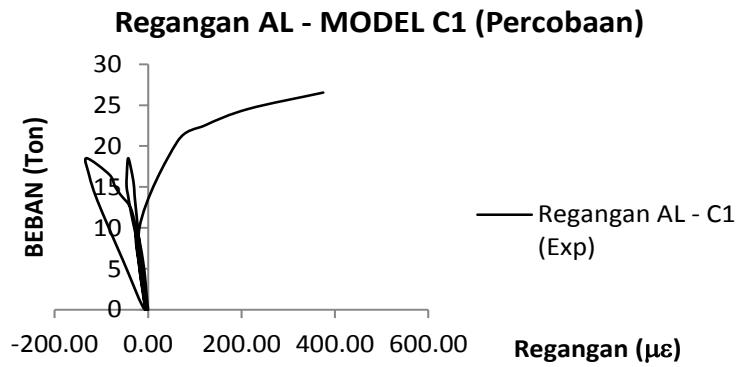
Gambar L4.31 Grafik beban vs regangan AL benda uji model-B1



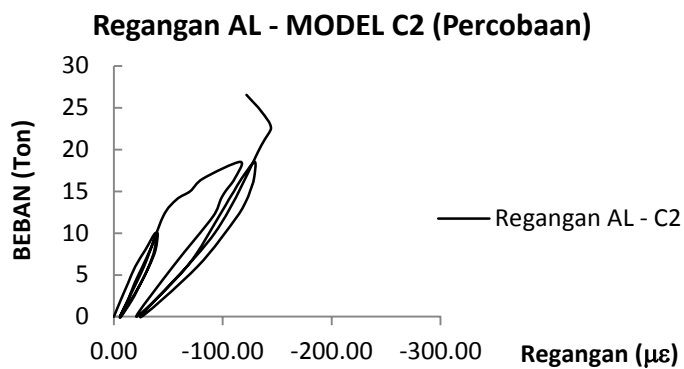
Gambar L4.32 Grafik beban vs regangan AL benda uji model-B2



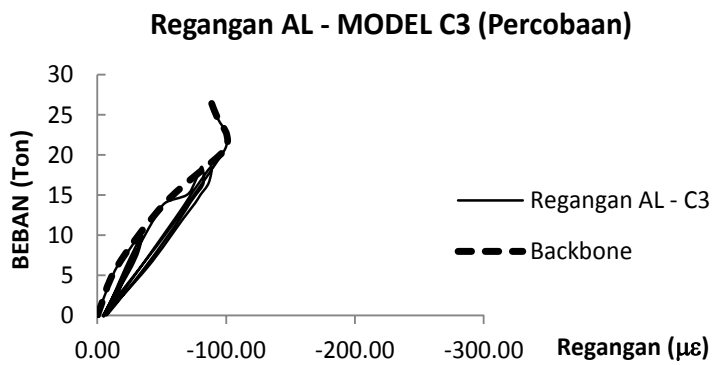
Gambar L4.33 Grafik beban vs regangan AL benda uji model-B3



Gambar L4.34 Grafik beban vs regangan AL benda uji model-C1



Gambar L4.35 Grafik beban vs regangan AL benda uji model-C2



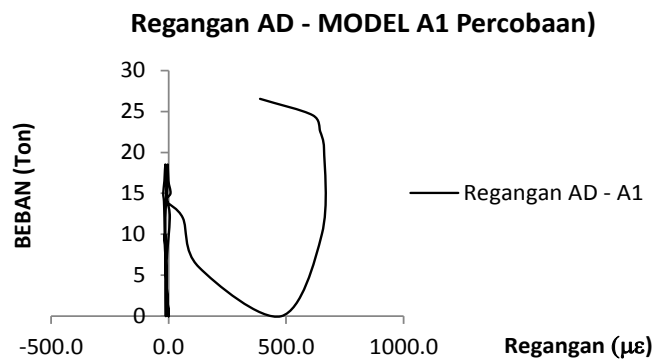
Gambar L4.36 Grafik beban vs regangan AL benda uji model-C3

Tabel L4.5 Regangan baja tulangan tekan lapis dalam (*Strain gauge AD*)

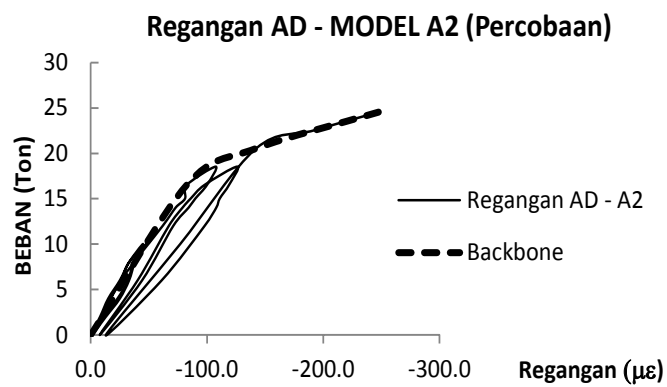
STEP	LOAD			REGANGAN (AD) - MODEL A			REGANGAN (AD) - MODEL B			REGANGAN (AD) - MODEL C		
	Psi	Mpa	Ton	SG4/AD			SG4/AD			SG 5/AL		
				07/09	22/09	30/09	17/09	23/09	29/09	14/09	18/09	25/09
				A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
				με	με	με	με	με	με	με	με	με
1	0	0	0	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	400	0.49	2.00	-6.00	-8.00	-7.00		-5.50	-4.50	-3.50	-4.75	-4.50
3	800	0.98	4.01	-10.00	-15.00	-13.00		-12.50	-9.50	-6.50	-9.75	-9.50
4	1200	1.47	6.01	-12.00	-25.00	-22.00		-19.70	-14.50	-11.00	-14.75	-15.00
5	1600	1.97	8.01	-14.00	-33.00	-32.00		-26.50	-20.00	-17.00	-21.75	-24.00
6	2000	2.46	10.02	-16.00	-45.00	-41.00		-31.50	-26.00	-25.00	-28.75	-33.00
7	1600	1.97	8.01	-14.00	-38.00	-36.00		-30.70	-24.50	-24.50	-28.00	-31.00
8	1200	1.47	6.01	-11.00	-33.00	-26.00		-26.00	-19.50	-20.00	-24.00	-25.50
9	800	0.98	4.01	-9.00	-25.00	-16.00		-20.50	-14.50	-16.00	-18.50	-19.00
10	400	0.49	2.00	-5.00	-13.00	-8.00		-12.50	-8.50	-11.00	-11.75	-13.00
11	0	0.00	0.00	0.00	-1.00	0.00		-3.50	-2.50	-5.50	-4.25	-4.50
12	400	0.49	2.00	-7.00	-9.00	-7.00		-9.50	-7.50	-8.50	-9.75	-11.00
13	800	0.98	4.01	-10.00	-17.00	-13.00		-17.50	-12.00	-11.50	-14.25	-16.50
14	1200	1.47	6.01	-12.00	-26.00	-22.00		-23.50	-17.50	-17.00	-19.75	-22.00
15	1600	1.97	8.01	-15.00	-33.00	-32.00		-28.00	-22.00	-21.50	-25.00	-28.00
16	2000	2.46	10.02	-16.00	-48.00	-41.00		-33.50	-27.00	-27.00	-30.00	-34.50
17	1600	1.97	8.01	-14.00	-37.00	-35.00		-32.00	-24.50	-25.50	-28.75	-32.00
18	1200	1.47	6.01	-11.00	-32.00	-25.00		-29.00	-19.50	-20.50	-24.25	-26.50
19	800	0.98	4.01	-9.00	-23.00	-15.00		-23.00	-14.50	-16.00	-18.50	-19.50
20	400	0.49	2.00	-5.00	-11.00	-7.00		-13.00	-9.00	-10.00	-12.50	-13.50
21	0	0.00	0.00	0.00	-1.00	0.00		-3.50	-3.00	-5.50	-4.25	-5.00
22	1200	1.47	6.01	-13.00	-26.00	-23.00		-23.50	-18.00	-16.00	-20.75	-23.50
23	2400	2.95	12.02	-18.0	-61.9	-51.0		-36.30	-33.33	-34.50	-37.75	-39.00
24	2800	3.44	14.02	-20.0	-73.0	-66.0		-42.30	-42.00	-48.50	-43.00	-42.00
25	3000	3.68	15.02	-23.0	-81.1	1.0		-57.00	-52.00	-70.50	-55.75	-54.50
26	3300	4.05	16.53	-18.0	-82.7	128.0		-62.30	-66.68	-83.00	-64.25	-65.50
27	3700	4.54	18.53	-14.00	-107.52	376.00		-89.00	-43.50	-82.00	-96.75	-81.00
28	3300	4.05	16.53	-11.00	-100.02	389.00		-87.50	-36.00	-76.50	-92.50	-82.50
29	3000	3.68	15.02	-9.00	-90.00	387.00		-85.00	-34.00	-69.00	-85.50	-76.50
30	2800	3.44	14.02	-5.00	-84.20	374.00		-82.50	-32.50	-48.00	-80.50	-72.00
31	2400	2.95	12.02	5.00	-71.04	354.00		-77.50	-29.50	-18.50	-71.00	-64.00
32	1200	1.47	6.01	-10.00	-44.16	265.00		-55.70	-19.00	-39.00	-39.75	-37.00
33	0	0.00	0.00	-12.00	-7.68	167.00		-20.40	-5.50	-61.00	-7.25	-7.00
34	1200	1.47	6.01	-13.00	-40.32	191.00		-49.00	-21.50	-66.00	-46.00	-43.50
35	2400	2.95	12.02	-14.00	-67.20	292.00		-70.50	-29.50	-77.00	-80.50	-60.00
36	2800	3.44	14.02	-10.00	-79.00	328.00		-77.50	-31.50	-83.50	-88.00	-68.50
37	3000	3.68	15.02	-8.00	-86.00	345.00		-80.50	-32.50	-83.50	-92.00	-72.50
38	3300	4.05	16.53	-5.00	-98.00	378.00		-85.50	-33.50	-77.00	-97.75	-79.00
39	3700	4.54	18.53	-4.00	-126.00	445.00		-90.00	-25.50	-70.00	-107.75	-88.50
40	3300	4.05	16.53	-1.00	-119.00	469.00		-87.50	-20.50	-47.50	-107.25	-86.50
41	3000	3.68	15.02	8.00	-111.00	462.00		-84.50	-18.50	-17.50	-104.25	-80.00
42	2800	3.44	14.02	-8.00	-108.00	446.00		-81.50	-18.00	-53.50	-100.32	-76.00
43	2400	2.95	12.02	60.00	-98.00	421.00		-74.70	-15.50	-89.00	-90.50	-66.50
44	1200	1.47	6.01	128.00	-61.00	300.00		-54.00	-11.00	-60.00	-51.50	-39.00
45	0	0.00	0.00	479.00	-13.00	182.00		-18.50	-1.50	-21.50	-10.25	-7.50
46	2000	2.46	10.02	652.00	-77.00	302.00		-62.50	-17.50	93.50	-57.25	-52.50
47	4100	5.04	20.53	661.00	-152.22	667.00		-92.20	-2.50	-113.00	-113.00	-98.50
48	4500	5.53	22.53	645.00	-192.20	805.00		-99.50	32.00	-113.00	-117.25	-100.50
49	4900	6.02	24.54	613.00	-247.67	1006.00		-104.30	79.30	114.50	-115.50	-83.50
50	5300	6.51	26.54	389.00	-327.67	1312.00		-98.30	130.30	-100.00	-76.50	-68.50

Tabel L5.5 (Lanjutan)

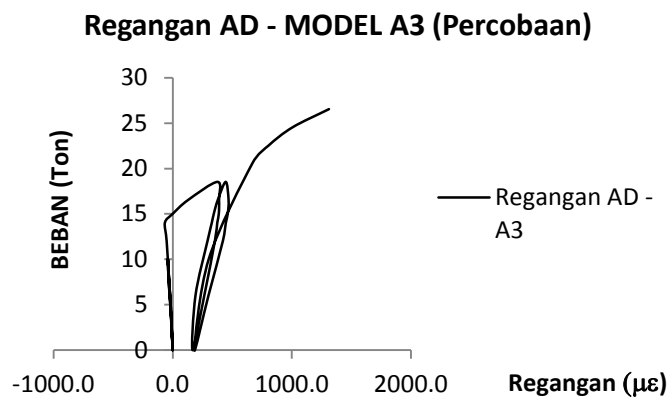
STEP	LOAD			REGANGAN (AD) - MODEL A			REGANGAN (AD) - MODEL B			REGANGAN (AD) - MODEL C		
	Psi	Mpa	Ton	SG4/AD			SG4/AD			SG 5/AL		
				07/09	22/09	30/09	17/09	23/09	29/09	14/09	18/09	25/09
				A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
				µε	µε	µε	µε	µε	µε	µε	µε	µε
51	4900	6.02	24.54	132.00	-351.00	1352.00		68.60	133.30	66.00	-44.75	-45.50
52	4500	5.53	22.53	275.00	-334.33	1300.00		-45.50	130.00	68.00	-34.75	-43.00
53	4100	5.04	20.53	538.00	-327.67	1246.00		-33.50	125.30	103.00	-30.20	-36.50
54	2000	2.46	10.02	586.00	-253.00	871.00		-13.50	85.30	111.00	-18.00	-15.00
55	0	0.00	0.00	632.00	-125.00	518.00		-4.50	49.00	121.00	9.50	-5.50
56	2000	2.46	10.02	713.00	-201.67	782.00		-22.00	57.30	176.50	23.25	-27.50
57	4100	5.04	20.53	715.00	-312.67	1136.00		-31.00	109.40	188.50	38.50	-45.50
58	4500	5.53	22.53	693.00	-326.00	1209.00		-32.00	120.00	188.50	41.25	-50.00
59	4900	6.02	24.54	656.00	-344.33	1283.00		-31.00	133.30	188.50	41.50	-52.00
60	5300	6.51	26.54	393.00	-385.67	1434.00		-17.50	160.30	155.50	28.50	-29.00
61	4900	6.02	24.54	111.00	-391.33	1441.00		-15.40	161.00	152.50	28.00	-24.00
62	4500	5.53	22.53	412.00	-465.60	1409.00		-13.00	157.00	138.50	27.00	-21.50
63	4100	5.04	20.53	1139.00	-456.00	1350.00		-10.50	150.00	342.50	25.25	-16.50
64	2000	2.46	10.02	1897.00	-340.40	961.00		-1.50	99.50	570.50	18.00	-7.00
65	0	0.00	0.00	13606.00	-145.60	607.00		-8.30	50.00	814.00	10.75	-6.00
66	2800	3.44	14.02	30555.00	-322.80	1016.00		-8.50	94.00	937.00	25.50	-19.50
67	5700	7.00	28.54	30619.00	-535.20	1949.00		-71.20	233.50	0.00	18.00	-51.50
68	6100	7.49	30.55	30608.00	-668.40	2256.00		-171.50	356.20		25.50	0.00
69	6500	7.98	32.55	30529.00	-830.40	2380.00		0.00	673.50	0.00	24.25	0.00
70	6900	8.47	34.55	29538.00	-1032.80	2395.00		0.00	1154.50	0.00	160.50	0.00
71	6500	7.98	32.55	27279.00	-1382.40	2336.00		0.00	1162.40	0.00	243.50	0.00
72	6100	7.49	30.55	27810.00	-1380.40	2305.00		0.00	1136.50	0.00	275.00	0.00
73	5700	7.00	28.54	28724.00	-1359.20	2196.00		0.00	1107.50	0.00	276.75	0.00
74	2800	3.44	14.02	28931.00	-1073.60	1388.00		0.00	889.30	0.00	276.50	0.00
75	0	0.00	0.00	29345.00	-388.00	436.00		0.00	742.00	0.00	230.00	0.00
76	2800	3.44	14.02	30227.00	-1051.60	1117.00		0.00	859.50	0.00	236.25	0.00
77	5700	7.00	28.54	30291.00	-1310.00	2194.00		0.00	1022.00	0.00	238.25	0.00
78	6100	7.49	30.55	30287.00	-1358.80	2387.00		0.00	1045.50	0.00	266.75	0.00
79	6500	7.98	32.55	30219.00	-1583.20	2198.00		0.00	1251.50	0.00	0.00	0.00
80	6900	8.47	34.55	28807.00		2941.00		0.00	1710.00	0.00	0.00	0.00
81	6500	7.98	32.55	26639.00				0.00	1682.50	0.00	0.00	0.00
82	6100	7.49	30.55	27607.00				0.00	1638.30	0.00	0.00	0.00
83	5700	7.00	28.54	30229.00				0.00	1605.00	0.00	0.00	0.00
84	2800	3.44	14.02	30308.00				0.00	1411.00	0.00	0.00	0.00
85	0	0.00	0.00					0.00	1173.50	0.00	0.00	0.00
86	3700	4.54	18.53					0.00	1326.00	0.00	0.00	0.00
87	7300	8.97	36.56					0.00	1977.00	0.00	0.00	0.00
88	7650	9.40	38.31							0.00	0.00	0.00



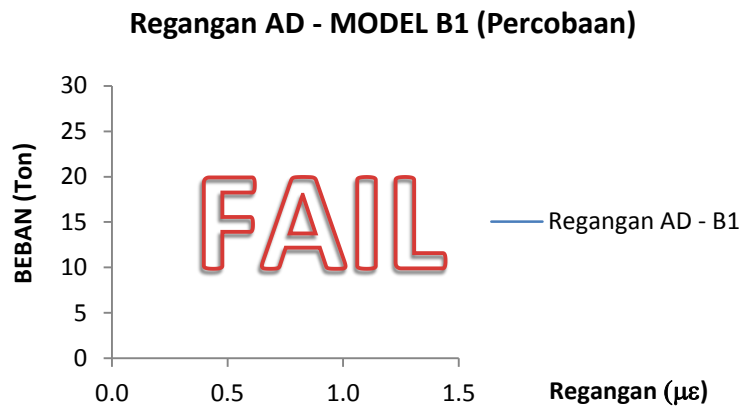
Gambar L4.37 Grafik beban vs regangan AD benda uji model-A1



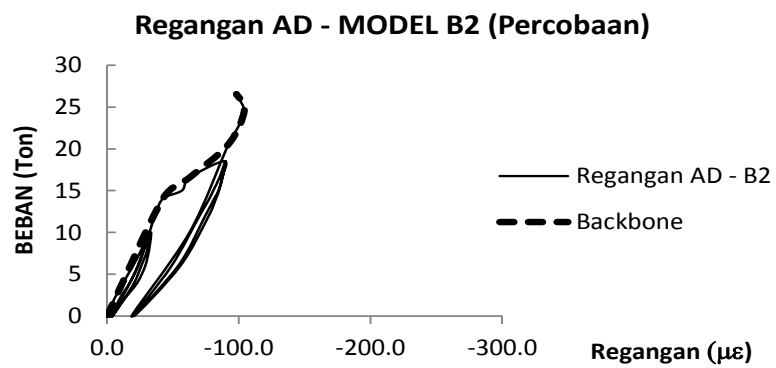
Gambar L4.38 Grafik beban vs regangan AD benda uji model-A2



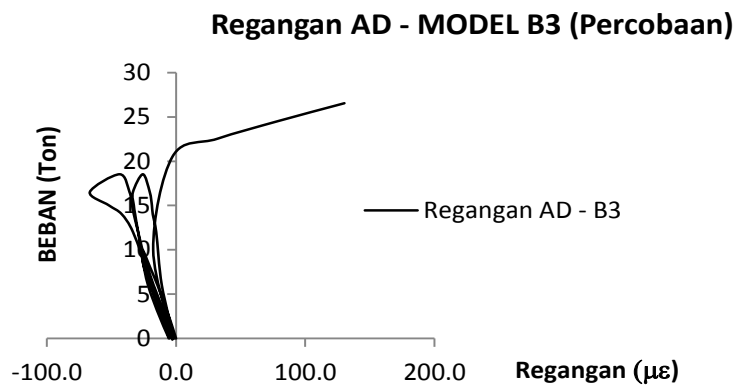
Gambar L4.39 Grafik beban vs regangan AD benda uji model-A3



Gambar L4.40 Grafik beban vs regangan AD benda uji model-B1

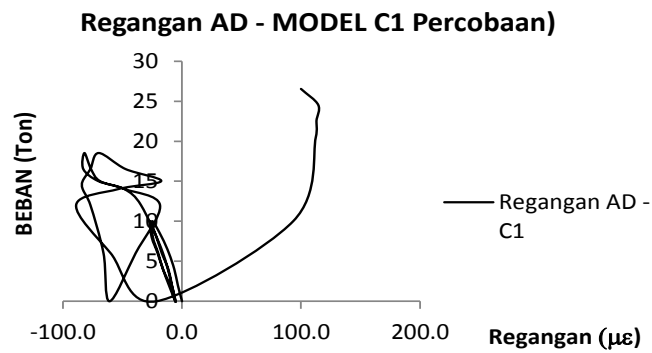


Gambar L4.41 Grafik beban vs regangan AD benda uji model-B2

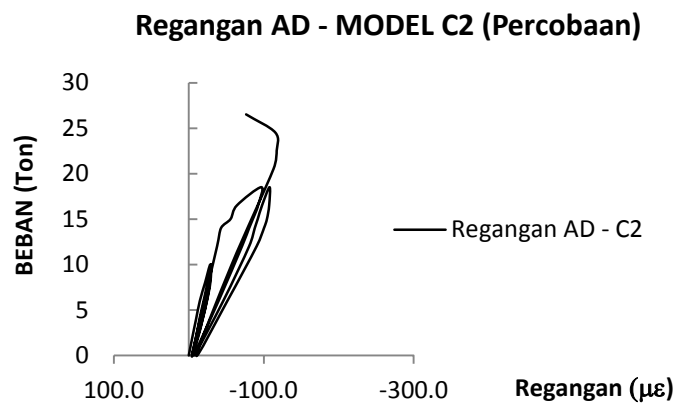


Gambar L4.42 Grafik beban vs regangan AD benda uji model-B3

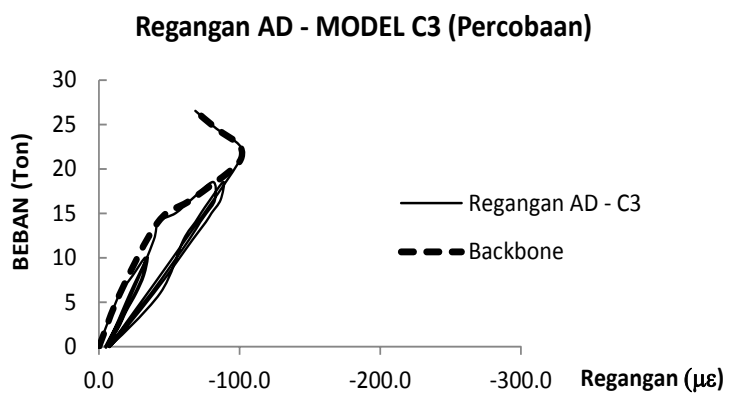




Gambar L4.43 Grafik beban vs regangan AD benda uji model-C1



Gambar L4.44 Grafik beban vs regangan AD benda uji model-C2



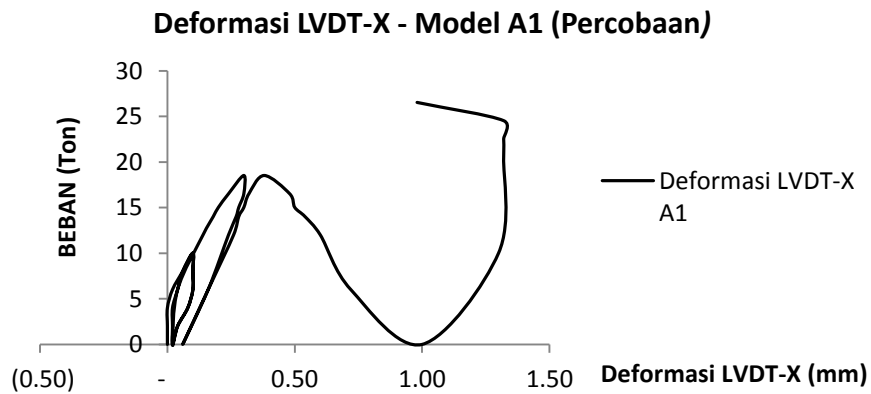
Gambar L4.45 Grafik beban vs regangan AD benda uji model-C3

Tabel L4.6 Deformasi LVDT-X

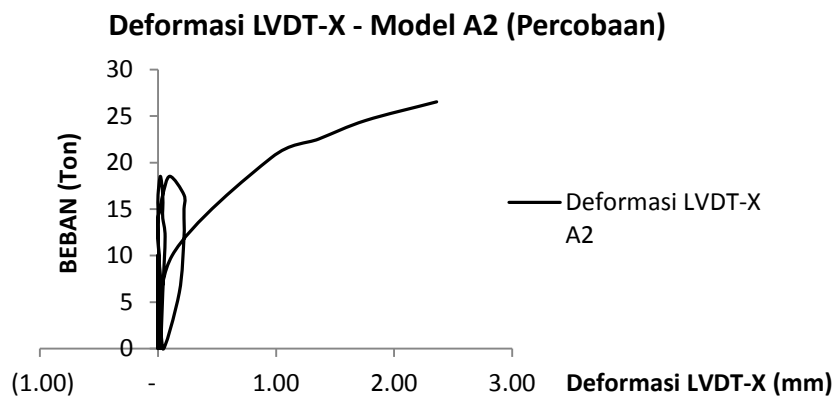
STEP	LOAD			LVDT-X - Model A			LVDT-X - Model B			LVDT-X - Model C		
	Psi	Mpa	Ton	LVDT X/Ch 1			LVDT X/Ch 1			LVDT X/Ch 1		
				07/09	22/09	30/09	17/09	23/09	29/09	14/09	18/09	25/09
				A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
				mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0
2	400	0.49	2.00	-	-	0.02	-	-	-	0.02	-	0
3	800	0.98	4.01	-	-	0.02	-	-	-	0.02	-	0
4	1200	1.47	6.01	0.02	-	0.02	0.02	-	-	0.02	-	0
5	1600	1.97	8.01	0.06	-	0.02	0.02	0.02	-	0.02	-	0
6	2000	2.46	10.02	0.10	-	0.02	0.02	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02
7	1600	1.97	8.01	0.10	-	0.02	0.02	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02
8	1200	1.47	6.01	0.10	-	0.02	0.02	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02
9	800	0.98	4.01	0.08	-	0.02	0.02	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02
10	400	0.49	2.00	0.04	0.02	0.02	0.02	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02
11	0	0.00	0.00	0.02	-	0.02	0.02	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02
12	400	0.49	2.00	0.02	-	0.02	0.02	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02
13	800	0.98	4.01	0.02	-	0.02	0.02	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02
14	1200	1.47	6.01	0.04	-	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
15	1600	1.97	8.01	0.06	-	0.02	0.02	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02
16	2000	2.46	10.02	0.10	-	0.02	0.02	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02
17	1600	1.97	8.01	0.10	-	0.02	0.02	0.06	0.02	0.02	0.02	0.02
18	1200	1.47	6.01	0.10	-	0.02	0.02	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02
19	800	0.98	4.01	0.08	-	0.02	0.02	0.06	0.02	0.02	0.02	0.02
20	400	0.49	2.00	0.04	-	0.02	0.02	0.06	0.02	0.02	0.02	0.02
21	0	0.00	0.00	0.02	-	0.02	0.02	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02
22	1200	1.47	6.01	0.04	0.02	0.02	0.02	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02
23	2400	2.95	12.02	0.14	-	0.04	0.02	0.06	0.04	0.02	0.04	0.02
24	2800	3.44	14.02	0.18	-	0.05	0.02	0.10	0.08	0.04	0.06	0.04
25	3000	3.68	15.02	0.20	-	0.10	0.02	0.12	0.10	0.08	0.08	0.08
26	3300	4.05	16.53	0.24	-	0.20	0.02	0.20	0.14	0.16	0.10	0.16
27	3700	4.54	18.53	0.30	0.02	0.90	0.04	0.46	0.34	0.16	0.40	0.32
28	3300	4.05	16.53	0.30	0.04	0.92	0.02	0.48	0.38	0.16	0.38	0.32
29	3000	3.68	15.02	0.28	0.04	0.92	0.04	0.48	0.38	0.16	0.38	0.32
30	2800	3.44	14.02	0.27	0.04	0.92	0.04	0.48	0.38	0.16	0.38	0.32
31	2400	2.95	12.02	0.24	0.06	0.92	0.02	0.46	0.38	0.10	0.38	0.32
32	1200	1.47	6.01	0.16	0.04	0.78	0.02	0.36	0.30	0.12	0.36	0.29
33	0	0.00	0.00	0.06	0.02	0.54	0.02	0.20	0.22	0.14	0.22	0.22
34	1200	1.47	6.01	0.16	0.02	0.54	0.04	0.26	0.22	0.16	0.28	0.22
35	2400	2.95	12.02	0.26	-	0.72	0.04	0.40	0.30	0.16	0.38	0.29
36	2800	3.44	14.02	0.28	-	0.78	0.04	0.42	0.34	0.18	0.42	0.32
37	3000	3.68	15.02	0.30	0.02	0.82	0.02	0.44	0.36	0.18	0.46	0.32
38	3300	4.05	16.53	0.32	0.04	0.88	0.04	0.48	0.38	0.18	0.52	0.32
39	3700	4.54	18.53	0.38	0.10	1.02	0.04	0.54	0.46	0.18	0.66	0.43
40	3300	4.05	16.53	0.48	0.22	1.08	0.04	0.56	0.48	0.18	0.74	0.40
41	3000	3.68	15.02	0.50	0.22	1.08	0.04	0.56	0.48	0.10	0.78	0.43
42	2800	3.44	14.02	0.54	0.22	1.08	0.04	0.56	0.48	0.14	0.78	0.43
43	2400	2.95	12.02	0.60	0.22	1.08	0.04	0.52	0.48	0.30	0.76	0.43
44	1200	1.47	6.01	0.72	0.18	0.88	0.04	0.40	0.38	0.60	0.56	0.32
45	0	0.00	0.00	1.00	0.04	0.60	0.04	0.22	0.28	0.86	0.28	0.25
46	2000	2.46	10.02	1.30	0.12	0.76	0.04	0.40	0.36	1.44	0.54	0.32
47	4100	5.04	20.53	1.32	0.96	1.82	0.08	0.70	0.70	1.54	0.94	0.58
48	4500	5.53	22.53	1.32	1.36	2.66	0.18	0.86	0.98	1.54	1.26	0.94
49	4900	6.02	24.54	1.32	1.76	4.28	0.42	1.12	2.38	1.54	2.80	1.84
50	5300	6.51	26.54	0.98	2.36	5.14	0.54	3.48	3.84	1.30	3.96	3.17

Tabel L4.6 (Lanjutan)

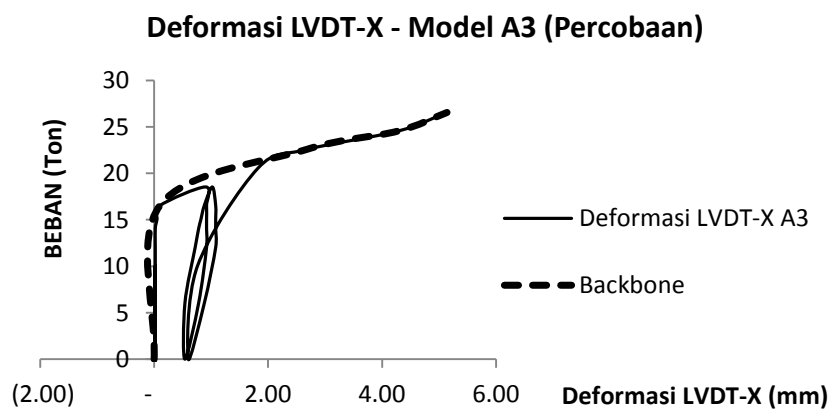
STEP	LOAD			LVDT-X - Model A			LVDT-X - Model B			LVDT-X - Model C		
	Psi	Mpa	Ton	LVDT X/Ch 1			LVDT X/Ch 1			LVDT X/Ch 1		
				07/09	22/09	30/09	17/09	23/09	29/09	14/09	18/09	25/09
				A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
				mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
51	4900	6.02	24.54	0.56	2.54	5.20	0.54	1.52	1.90	0.86		3.28
52	4500	5.53	22.53	0.74	2.56	5.28	0.54	1.52	1.90	1.02		3.28
53	4100	5.04	20.53	1.14	2.56	5.44	0.54	1.52	1.86	1.40		3.24
54	2000	2.46	10.02	1.20	2.16	5.50	0.46	1.22	1.46	1.48		2.59
55	0	0.00	0.00	1.28	1.48	5.14	0.24	0.64	0.92	1.56		1.69
56	2000	2.46	10.02	1.42	1.84	5.64	0.24	0.98	1.18	1.90		2.12
57	4100	5.04	20.53	1.44	2.36	6.68	0.44	1.40	1.70	1.96		2.99
58	4500	5.53	22.53	1.44	2.46	6.86	0.46	1.46	1.80	1.96		3.13
59	4900	6.02	24.54	1.44	2.58	7.06	0.50	1.54	1.92	1.96		3.31
60	5300	6.51	26.54	1.04	2.92	7.38	0.56	1.76	2.18	1.64		3.82
61	4900	6.02	24.54	0.60	2.98	7.38	0.56	1.80	2.22	1.16		3.96
62	4500	5.53	22.53	1.00	2.98	7.38	0.56	1.80	-	1.52		3.96
63	4100	5.04	20.53	2.28	2.98	7.32	0.56	1.80	2.16	2.96		3.92
64	2000	2.46	10.02	3.70	2.56	6.42	0.46	1.44	1.76	4.84		3.13
65	0	0.00	0.00	4.74	1.76	5.32	0.24	0.80	1.04	7.68		2.16
66	2800	3.44	14.02	5.56	2.44	6.28	0.34	1.40	1.62	9.58		3.10
67	5700	7.00	28.54	5.56	3.86	8.34	0.68	3.66	3.04			6.48
68	6100	7.49	30.55	5.56	5.44	11.10	0.82	6.46	4.54			6.96
69	6500	7.98	32.55	5.56	7.88	14.18	0.94		6.64			
70	6900	8.47	34.55	6.04	10.26	14.62	1.28		10.94			
71	6500	7.98	32.55	4.76	10.56	14.62			11.02			
72	6100	7.49	30.55	5.30	10.66	14.66			11.02			
73	5700	7.00	28.54	5.94	10.66	14.66			10.90			
74	2800	3.44	14.02	5.92	9.42	14.66			9.88			
75	0	0.00	0.00	5.92	7.52	13.36			7.96			
76	2800	3.44	14.02	5.90	8.34	14.36			9.10			
77	5700	7.00	28.54		9.86	14.78			10.52			
78	6100	7.49	30.55		10.08	14.78			10.80			
79	6500	7.98	32.55		10.58	14.78			11.16			
80	6900	8.47	34.55		11.94	15.20			13.40			
81	6500	7.98	32.55		12.14				13.50			
82	6100	7.49	30.55		12.20				13.44			
83	5700	7.00	28.54		12.20				13.36			
84	2800	3.44	14.02		10.68				12.04			
85	0	0.00	0.00		8.70				9.94			
86	3700	4.54	18.53		9.96				11.72			
87	7300	8.97	36.56		16.56				19.22			
88	7650	9.40	38.31									



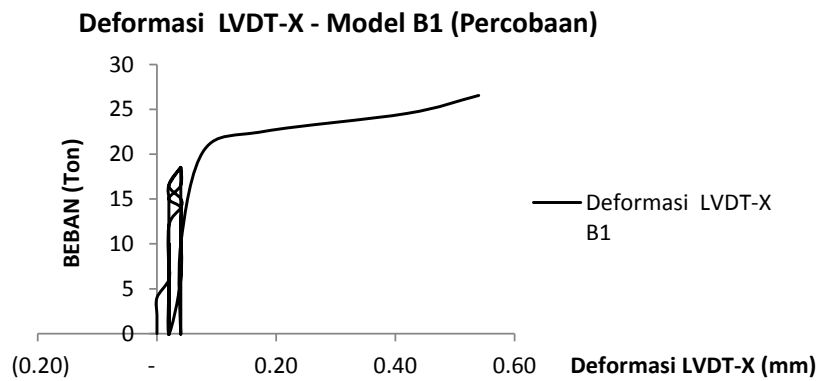
Gambar L4.46 Grafik beban vs Deformasi LVDT-X benda uji model-A1



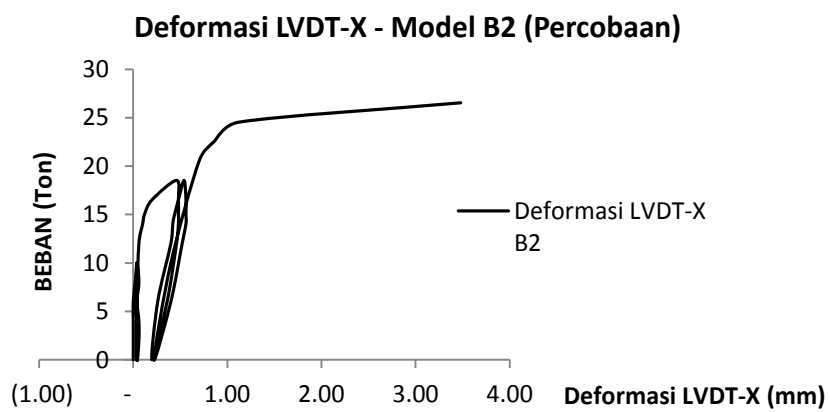
Gambar L4.47 Grafik beban vs Deformasi LVDT-X benda uji model -A2



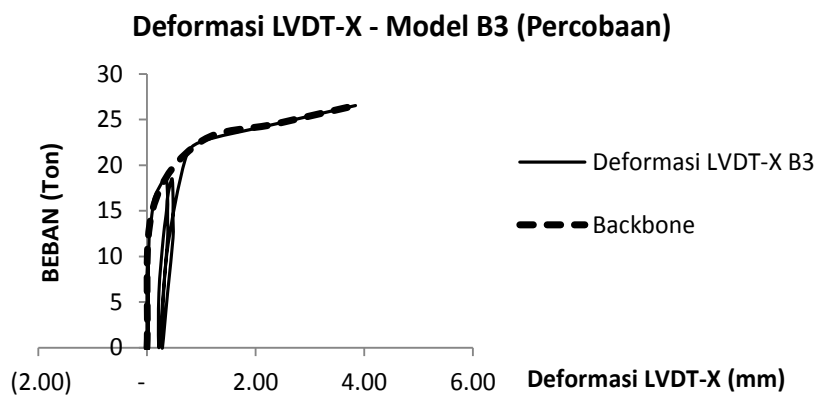
Gambar L4.48 Grafik beban vs Deformasi LVDT-X benda uji model -A2



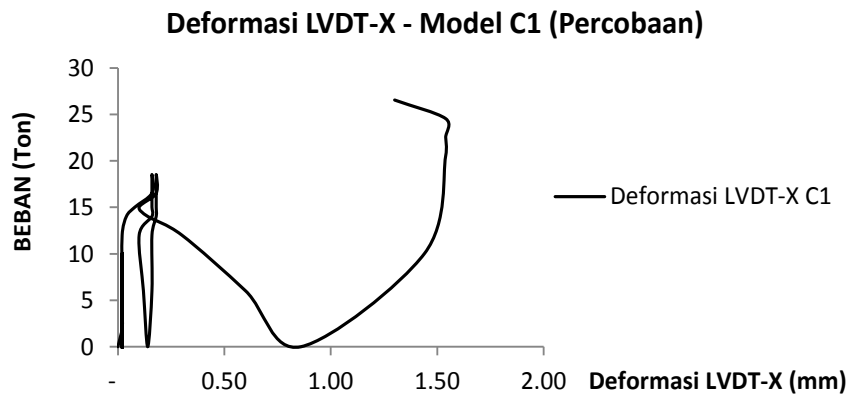
Gambar L4.49 Grafik beban vs Deformasi LVDT-X benda uji model -B1



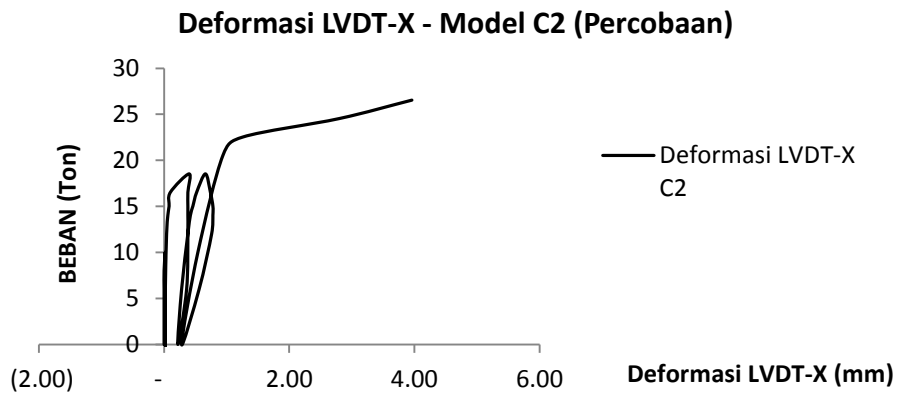
Gambar L4.50 Grafik beban vs Deformasi LVDT-X Benda Uji Model-B2



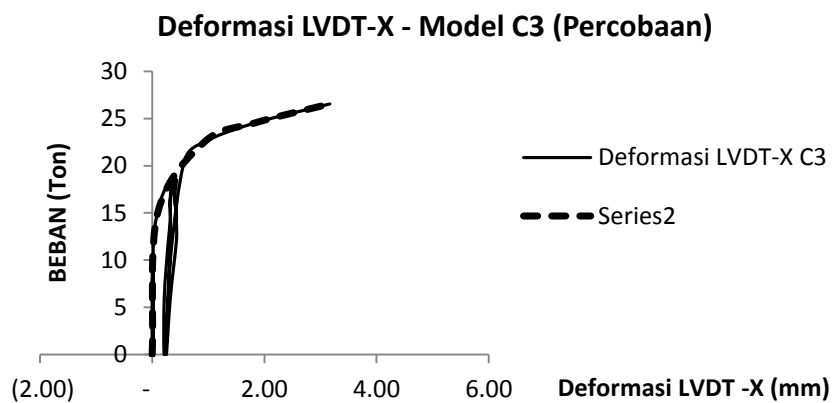
Gambar L4.51 Grafik beban vs Deformasi LVDT-X benda uji model -B3



Gambar L4.52 Grafik beban vs Deformasi LVDT-X benda uji model-C1



Gambar L4.53 Grafik beban vs Deformasi LVDT-X benda uji model-C2



Gambar L4.54 Grafik beban vs Deformasi LVDT-X benda uji model-C3

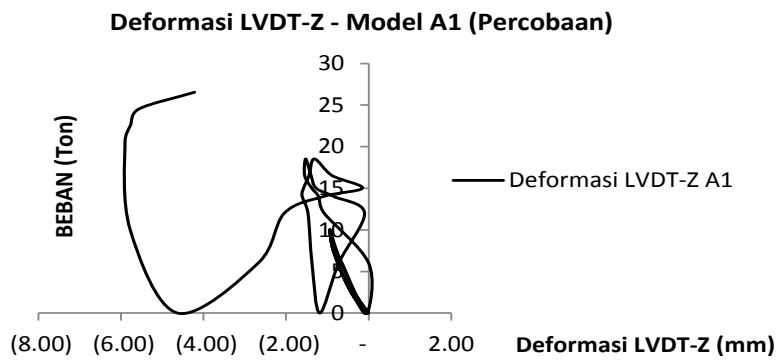
Tabel L4.7 Deformasi LVDT-Z

STEP	BEBAN UJI			LVDT-Z - Model A			LVDT-Z - Model B			LVDT-Z - Model C		
	Psi	Mpa	Ton	LVDT Y/Ch 0			LVDT Y/Ch 0			LVDT Y/Ch 0		
				07/09	22/09	30/09	17/09	23/09	29/09	14/09	18/09	25/09
				A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
				mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	400	0.49	2.00	-0.28	0.02	0	0	0	0	0	0	0
3	800	0.98	4.01	-0.47	0.02	0	0	0	0	0	0	0
4	1200	1.47	6.01	-0.645	0.02	0	0	0.02	0.02	0	0	0.02
5	1600	1.97	8.01	-0.865	0.02	0	0	0.02	0.04	0.02	0.02	0.04
6	2000	2.46	10.02	-0.94	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04	0.04	0.04	0.08
7	1600	1.97	8.01	-0.885	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04	0.04	0.02	0.08
8	1200	1.47	6.01	-0.75	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04	0.04	0.02	0.08
9	800	0.98	4.01	-0.58	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04	0.04	0.02	0.08
10	400	0.49	2.00	-0.365	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04	0.04	0.02	0.06
11	0	0.00	0.00	-0.03	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04	0.04	0.02	0.04
12	400	0.49	2.00	-0.295	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04	0.04	0.02	0.04
13	800	0.98	4.01	-0.49	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04	0.04	0.02	0.04
14	1200	1.47	6.01	-0.66	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04	0.04	0.02	0.06
15	1600	1.97	8.01	-0.81	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04	0.04	0.02	0.08
16	2000	2.46	10.02	-0.94	0.02	0.02	0.02	0.04	0.06	0.04	0.04	0.1
17	1600	1.97	8.01	-0.885	0.02	0.02	0.02	0.04	0.06	0.04	0.04	0.1
18	1200	1.47	6.01	-0.745	0.02	0.02	0.02	0.04	0.06	0.04	0.04	0.1
19	800	0.98	4.01	-0.58	0.02	0.02	0.02	0.04	0.06	0.04	0.04	0.1
20	400	0.49	2.00	-0.365	0.02	0.02	0.02	0.04	0.06	0.04	0.02	0.06
21	0	0.00	0.00	-0.03	0.02	0.02	0.02	0.04	0.06	0.04	0.02	0.04
22	1200	1.47	6.01	0	0.02	0.02	0.02	0.04	0.06	0.04	0.02	0.06
23	2400	2.95	12.02	-1.08	0.02	0.02	0.04	0.08	0.08	0.06	0.04	0.16
24	2800	3.44	14.02	-1.215	0.02	0.02	0.08	0.1	0.1	0.08	0.06	0.56
25	3000	3.68	15.02	-1.38	0.02	0.02	0.12	0.12	0.14	0.3	0.08	0.72
26	3300	4.05	16.53	-1.55	0.02	0.1	0.16	0.22	0.2	0.4	0.1	0.84
27	3700	4.54	18.53	-1.525	0.02	0.64	0.32	0.64	0.44	0.42	0.36	1.08
28	3300	4.05	16.53	-1.395	0.02	0.64	0.36	0.66	0.46	0.4	0.36	2.14
29	3000	3.68	15.02	-1.275	0.02	0.64	0.36	0.66	0.46	0.42	0.36	2.14
30	2800	3.44	14.02	-0.85	0.02	0.64	0.36	0.66	0.46	0.32	0.34	2.16
31	2400	2.95	12.02	-0.1	0.02	0.64	0.36	0.6	0.42	0.2	0.32	2.1
32	1200	1.47	6.01	-0.725	0.02	0.52	0.28	0.46	0.32	0.22	0.28	1.76
33	0	0.00	0.00	-1.185	0.02	0.3	0.16	0.28	0.2	0.32	0.2	1.28
34	1200	1.47	6.01	-1.37295	0.02	0.32	0.16	0.32	0.24	0.4	0.2	1.48
35	2400	2.95	12.02	-1.47	0.02	0.54	0.26	0.48	0.34	0.4	0.28	1.84
36	2800	3.44	14.02	-1.61	0.02	0.64	0.3	0.56	0.38	0.46	0.3	1.96
37	3000	3.68	15.02	-1.575	0.02	0.66	0.34	0.6	0.4	0.46	0.32	2.02
38	3300	4.05	16.53	-1.445	0.02	0.7	0.36	0.64	0.44	0.44	0.34	2.1
39	3700	4.54	18.53	-1.315	0.02	0.78	0.46	0.78	0.52	0.44	0.48	2.26
40	3300	4.05	16.53	-0.885	0.02	0.8	0.46	0.8	0.54	0.34	0.44	2.28
41	3000	3.68	15.02	-0.15	0.02	0.8	0.46	0.8	0.54	0.2	0.42	2.28
42	2800	3.44	14.02	-1.085	0.02	0.8	0.46	0.78	0.52	0.3	0.42	2.28
43	2400	2.95	12.02	-2.04	0.02	0.8	0.46	0.74	0.48	0.56	0.4	2.22
44	1200	1.47	6.01	-2.675	0.02	0.64	0.38	0.52	0.36	0.98	0.38	1.86
45	0	0.00	0.00	-4.63	0.02	0.36	0.22	0.32	0.22	1.66	0.26	1.34
46	2000	2.46	10.02	-5.775	0.02	0.66	0.32	0.5	0.36	2.74	0.34	1.84
47	4100	5.04	20.53	-5.9	0	1.22	0.7	1.06	0.74	2.88	0.68	2.82
48	4500	5.53	22.53	-5.77	0.64	1.38	1.12	1.42	1	2.88	0.92	3.74
49	4900	6.02	24.54	-5.56	0.96	1.74	1.58	1.88	1.38	2.88	1.34	4.7
50	5300	6.51	26.54	-4.215	1.5	2.44	2.08	2.5	1.84	2.52	1.86	5.66

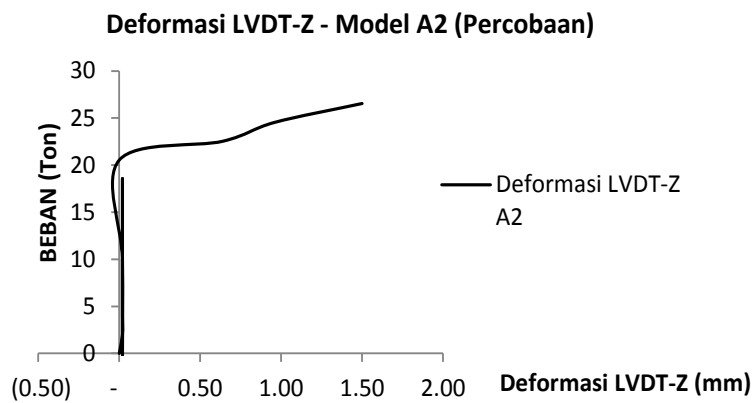
Tabel L4.7 (Lanjutan)

STEP	BEBAN UJI			LVDT-Z - Model A			LVDT-Z - Model B			LVDT-Z - Model C		
	Psi	Mpa	Ton	LVDT Y/Ch 0			LVDT Y/Ch 0			LVDT Y/Ch 0		
				07/09	22/09	30/09	17/09	23/09	29/09	14/09	18/09	25/09
				A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
				mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
51	4900	6.02	24.54	-2.22	1.5	2.46	2.18	2.56	1.86	1.72	2.92	5.78
52	4500	5.53	22.53	-3.665	1.5	2.46	2.2	2.56	1.84	2.06	2.92	5.78
53	4100	5.04	20.53	-5.26	1.52	2.46	2.18	2.52	1.78	2.72	2.92	5.76
54	2000	2.46	10.02	-5.55	1.24	2.2	1.86	1.88	1.3	2.84	2.54	6.06
55	0	0.00	0.00	-5.88	0.8	1.6	1.18	0.94	0.76	3.00	2	3.82
56	2000	2.46	10.02	-6.4	0.96	1.98	1.56	1.38	1.04	3.40	2.26	4.48
57	4100	5.04	20.53	-6.445	1.38	2.34	2.1	2.2	1.6	3.46	2.7	5.4
58	4500	5.53	22.53	-6.285	1.44	2.4	2.2	2.36	1.7	3.46	2.78	5.56
59	4900	6.02	24.54	-6.065	1.52	2.48	2.30	2.52	1.84	3.44	2.88	5.76
60	5300	6.51	26.54	-4.59	1.84	2.76	2.48	2.86	2.04	3.08	3.42	6.34
61	4900	6.02	24.54	-2.425	1.88	2.78	2.52	2.92	2.08	2.22	3.46	6.38
62	4500	5.53	22.53	-4.69	1.88	2.76	2.52	2.92	2.04	2.98	3.46	6.38
63	4100	5.04	20.53	-8.945	1.88	2.76	2.52	2.86	1.96	4.90	3.46	6.36
64	2000	2.46	10.02	-12.59	1.5	2.4	2.04	2.14	1.44	7.82	3.1	5.54
65	0	0.00	0.00	-15.225	1.04	1.74	1.36	1.06	0.82		2.48	4.26
66	2800	3.44	14.02	-21.425	1.42	2.34	2.02	1.96	1.38		0.9	5.38
67	5700	7.00	28.54	-21.63	2.78	3.62	3.06	4.76	2.60		5.32	8.30
68	6100	7.49	30.55	-21.61	3.8	6.34	3.78	6.8	3.64		6.38	11.96
69	6500	7.98	32.55	-21.4	4.16	8.98	5.52		5.36		8.5	
70	6900	8.47	34.55	-18.465	4.58	9.66	9.12		9.04		11.16	
71	6500	7.98	32.55	-13.57	4.62	9.66			9.1			
72	6100	7.49	30.55	-16.97	4.62	9.66			9.08			
73	5700	7.00	28.54	-20.605	4.62	9.66			8.98			
74	2800	3.44	14.02	-21.19	4	9.66			7.94			
75	0	0.00	0.00	-22.055	3.16	9.64			6.34			
76	2800	3.44	14.02	-25.535	3.56	9.66			7.42			
77	5700	7.00	28.54	-25.625	4.38	9.66			8.76			
78	6100	7.49	30.55	-25.62	4.5	9.66			9			
79	6500	7.98	32.55	-25.435	4.78	9.66			9.46			
80	6900	8.47	34.55	-22.13	5.7	9.76			11.54			
81	6500	7.98	32.55	-16.19	5.74				11.56			
82	6100	7.49	30.55	-21.795	5.74				11.56			
83	5700	7.00	28.54	-33.865	5.74				11.44			
84	2800	3.44	14.02	-39.015	4.9				10.12			
85	0	0.00	0.00		3.96				8.38			
86	3700	4.54	18.53		4.56				9.88			
87	7300	8.97	36.56		7.42				17.08			
88	7650	9.40	38.31									

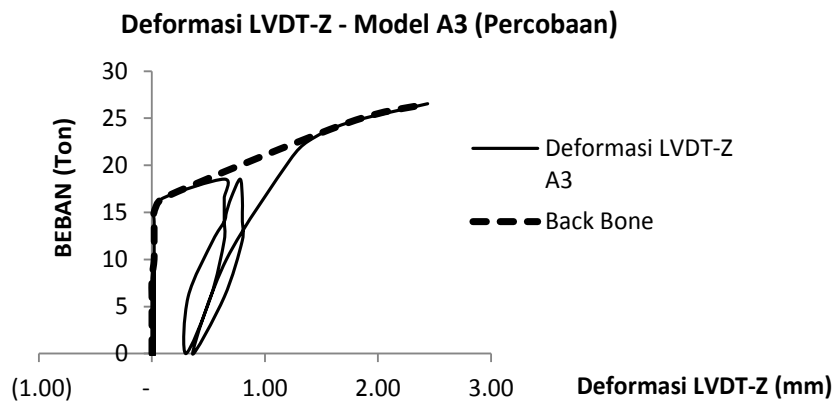




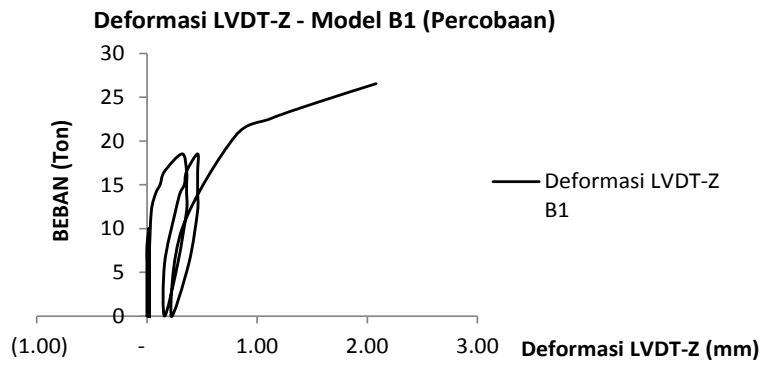
Gambar L4.55 Grafik beban vs Deformasi LVDT-Z benda uji model-A1



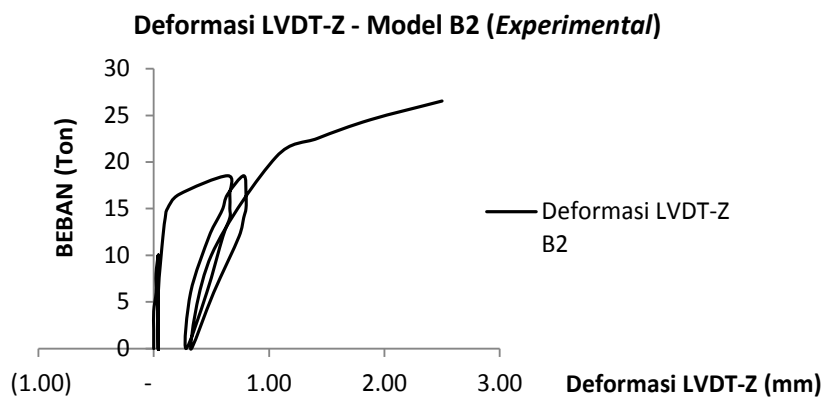
Gambar L4.56 Grafik beban vs Deformasi LVDT-Z benda uji model-A2



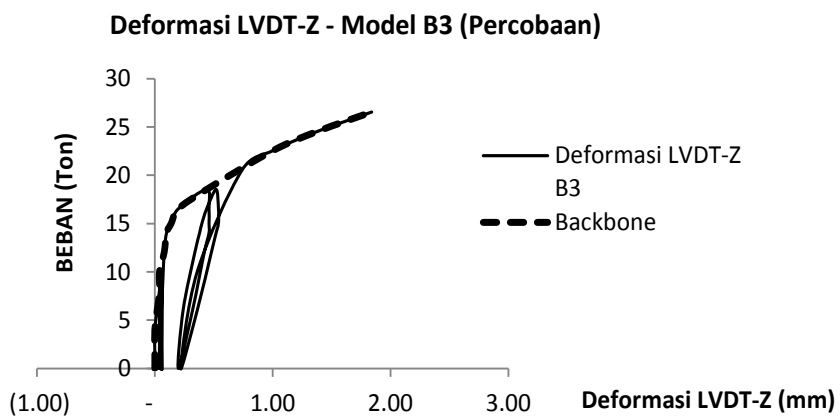
Gambar L4.57 Grafik beban vs Deformasi LVDT-Z benda uji model-A3



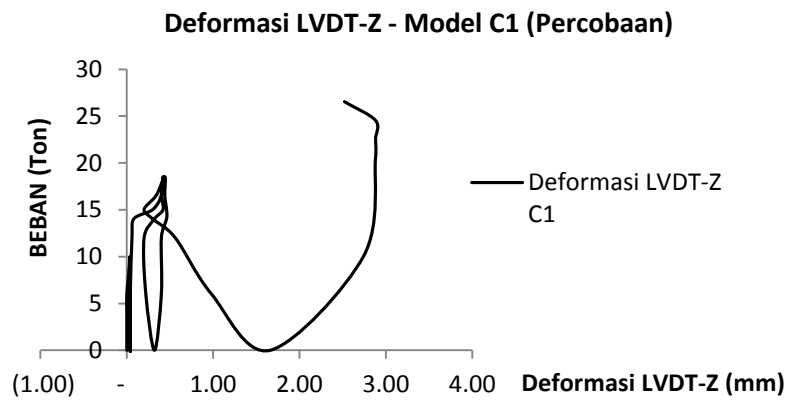
Gambar L4.58 Grafik beban vs Deformasi LVDT-Z benda uji model-B1



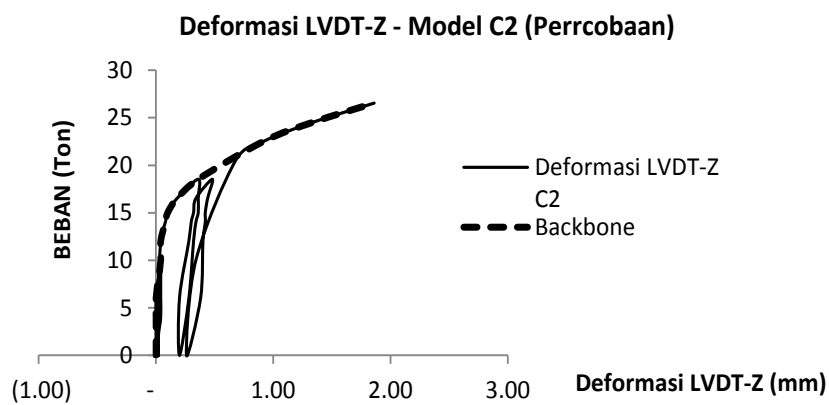
Gambar L4.59 Grafik beban vs Deformasi LVDT-Z benda uji model-B2



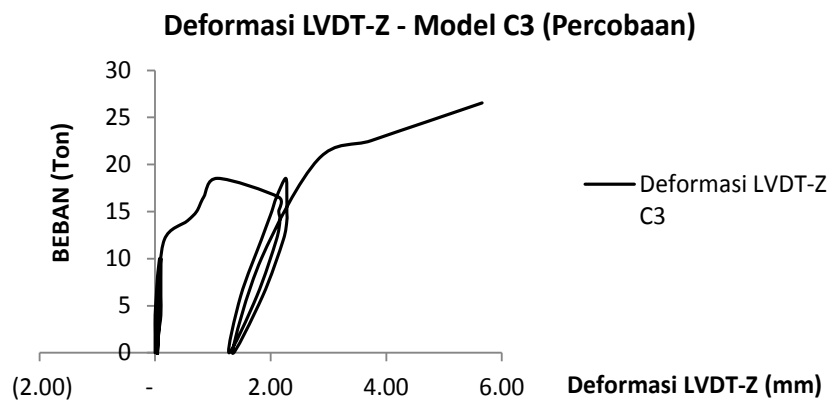
Gambar L4.60 Grafik beban vs Deformasi LVDT-Z benda uji model-B3



Gambar L4.61 Grafik beban vs Deformasi LVDT-Z benda uji model-C1



Gambar L4.62 Grafik beban vs Deformasi LVDT-Z benda uji model-C2



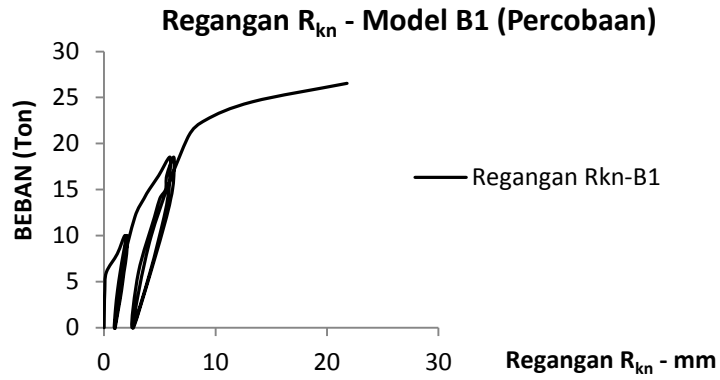
Gambar L4.63 Grafik beban vs Deformasi LVDT-Z benda uji model-C3

Tabel L4.8 Deformasi regangan Rkn untuk benda uji model-B dan model-C

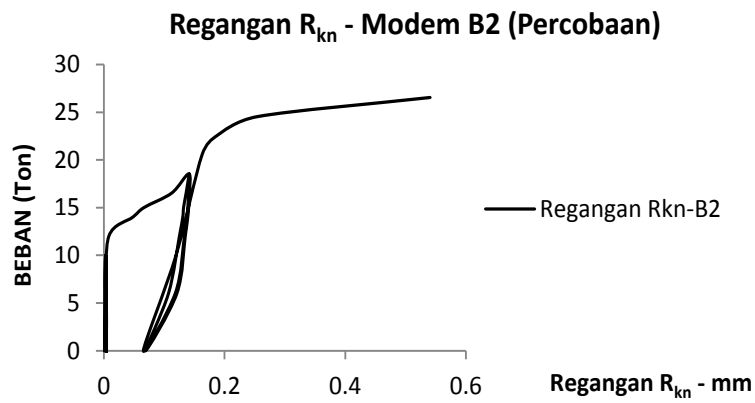
STEP	BEBAN UJI			MODEL - A			MODEL - B			MODEL - C		
	Psi	Mpa	Ton	Regangan Rkn			Regangan Rkn			Regangan Rkn		
				07/09	22/09	30/09	17/09	23/09	29/09	14/09	18/09	25/09
				A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
				mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1	0	0	0				0.0000	0	0	0	0	0
2	400	0.49	2.00				0.0200	0.0014	0.0014	0	0.0014	0
3	800	0.98	4.01				0.0600	0.0014	0.0028	0	0.0014	0
4	1200	1.47	6.01				0.2000	0.0014	0.0039	0	0.0014	0.0014
5	1600	1.97	8.01				1.1800	0.0014	0.0052	0	0.0014	0.0014
6	2000	2.46	10.02				1.8800	0.0028	0.0069	0	0.0014	0.0028
7	1600	1.97	8.01				1.8800	0.0028	0.0083	0	0.0014	0.0028
8	1200	1.47	6.01				1.7000	0.0028	0.0083	0.0014	0.0014	0.0028
9	800	0.98	4.01				1.4800	0.0028	0.0083	0.0014	0.0028	0.0028
10	400	0.49	2.00				1.2200	0.0026	0.0074	0.0014	0.0042	0.0028
11	0	0.00	0.00				0.9200	0.0014	0.0062	0.0014	0.0056	0.0028
12	400	0.49	2.00				1.0200	0.0018	0.0068	0.0014	0.0056	0.0028
13	800	0.98	4.01				1.2000	0.0024	0.0087	0.0014	0.0042	0.0028
14	1200	1.47	6.01				1.4400	0.0026	0.01	0	0.0056	0.0028
15	1600	1.97	8.01				1.7200	0.0028	0.011	0	0.0042	0.0028
16	2000	2.46	10.02				2.0600	0.0028	0.0125	0	0.0042	0.0028
17	1600	1.97	8.01				2.0200	0.0028	0.0139	0	0.0056	0.0028
18	1200	1.47	6.01				1.7800	0.0028	0.0139	0.0014	0.0056	0.0028
19	800	0.98	4.01				1.5600	0.0042	0.0139	0.0028	0.0069	0.0042
20	400	0.49	2.00				1.2800	0.0042	0.0126	0.0028	0.0083	0.0042
21	0	0.00	0.00				0.9600	0.0042	0.0082	0.0014	0.0097	0.0042
22	1200	1.47	6.01				1.5400	0.0042	0.0127	0.0014	0.0069	0.0042
23	2400	2.95	12.02				2.7600	0.0082	0.0195	0.0028	0.0056	0.0014
24	2800	3.44	14.02				3.5800	0.0482	0.0222	0.0056	0.0069	0.0097
25	3000	3.68	15.02				4.0600	0.0668	0.0264	0.0069	0.0056	0.0111
26	3300	4.05	16.53				4.9000	0.1123	0.094	0.0083	0.0083	0.0125
27	3700	4.54	18.53				5.9000	0.1404	0.1180	0.0097	0.153	0.0125
28	3300	4.05	16.53				5.9000	0.1418	0.1120	0.0083		0.0125
29	3000	3.68	15.02				5.8200	0.1404	0.1080	0.0083		0.0125
30	2800	3.44	14.02				5.7000	0.139	0.1069	0.0069	0.0195	0.0125
31	2400	2.95	12.02				5.3800	0.1348	0.1037	0.0028		0.0125
32	1200	1.47	6.01				4.1200	0.1209	0.0930	0.0028	0.0292	0.0083
33	0	0.00	0.00				2.5200	0.069	0.0531	0.0056	0.0403	0.0069
34	1200	1.47	6.01				3.0800	0.107	0.0823	0.0062	0.0347	0.0069
35	2400	2.95	12.02				4.5200	0.1251	0.0962	0.0083	0.0264	0.0083
36	2800	3.44	14.02				5.0000	0.1307	0.1005	0.0083	0.0236	0.0097
37	3000	3.68	15.02				5.5200	0.132	0.1015	0.0083	0.0222	0.0097
38	3300	4.05	16.53				5.6200	0.1362	0.1048	0.0083	0.0209	0.0097
39	3700	4.54	18.53				6.2400	0.1418	0.1091	0.0083	0.0139	0.0097
40	3300	4.05	16.53				6.2600	0.1404	0.1080	0.0056	0.0125	0.0097
41	3000	3.68	15.02				6.1400	0.139	0.1069	0.0028	0.0139	0.0097
42	2800	3.44	14.02				5.9800	0.1376	0.1058	0.0056	0.0139	0.0097
43	2400	2.95	12.02				5.6000	0.1334	0.1026	0.0056	0.0167	0.0097
44	1200	1.47	6.01				4.1800	0.1182	0.0909	0.0056	0.0306	0.0083
45	0	0.00	0.00				2.5800	0.0653	0.0502	0.0028	0.0431	0.0056
46	2000	2.46	10.02				4.2400	0.1195	0.0919	0.0014	0.0292	0.0083
47	4100	5.04	20.53				7.4600	0.1626	0.1251	0.0042	0	0.0083
48	4500	5.53	22.53				9.0800	0.1871	0.1493	0.0028	0.0236	0.0083
49	4900	6.02	24.54				13.3200	0.2544	0.1957	0.0028	0.0667	0.0042
50	5300	6.51	26.54				21.8000	0.5406	0.4238	0.0028	0.4832	0.0014

Tabel L4.8 (Lanjutan)

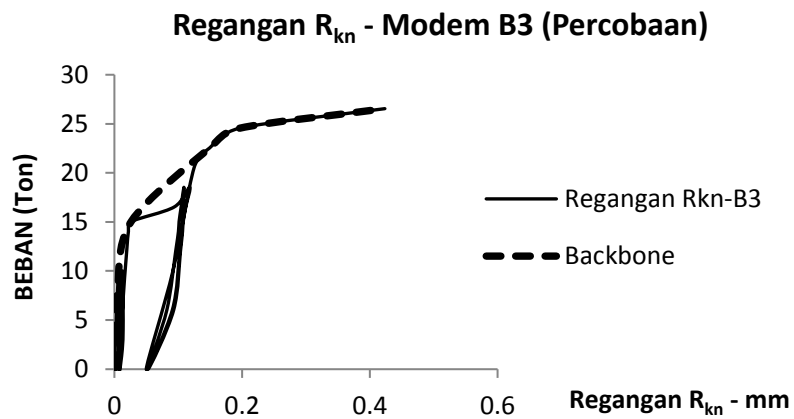
STEP	BEBAN UJI			MODEL - A			MODEL - B			MODEL - C		
	Psi	Mpa	Ton	Regangan Rkn			Regangan Rkn			Regangan Rkn		
				07/09	22/09	30/09	17/09	23/09	29/09	14/09	18/09	25/09
				A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
				mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
51	4900	6.02	24.54				22.3800	0.3517	0.2391	0.0014	0.5296	0.0014
52	4500	5.53	22.53				22.2800	0.3489	0.2516	0.0014	0.531	0.0028
53	4100	5.04	20.53				21.7000	0.3461	0.2655	0.0014	0.5393	0.0028
54	2000	2.46	10.02				16.8600	0.2891	0.3239	0.0028	0.6616	0.0028
55	0	0.00	0.00				10.2200	0.1724	0.3711	0.0014	0.8521	0.0014
56	2000	2.46	10.02				13.4000	0.2266	0.3614	0.0028	0.7881	0.0028
57	4100	5.04	20.53				19.4600	0.3128	0.3572	0.0028	0.6797	0.0028
58	4500	5.53	22.53				20.7000	0.3308	0.3586	0.0028	0.6769	0.0028
59	4900	6.02	24.54				22.1800	0.3544	0.3628	0.0028	0.688	0.0028
60	5300	6.51	26.54				25.8200	0.3934	0.367	0.0014	0.7256	0.0014
61	4900	6.02	24.54				26.5600	0.4003	0.3725	0	0.7339	0
62	4500	5.53	22.53				26.4000	0.3975	0.3795	0.0014	0.7395	0.0014
63	4100	5.04	20.53				25.8600	0.392	0.3878	0.0028	0.7492	0.0014
64	2000	2.46	10.02				20.0800	0.3128	0.4281	0	0.8465	0.0014
65	0	0.00	0.00				12.5200	0.1821	0.4768	0.0111	1.023	0
66	2800	3.44	14.02				19.1400	0.2891	0.4643	0.0222	0.8827	0.0014
67	5700	7.00	28.54				36.4000	0.8257	0.442		0.8632	0.0014
68	6100	7.49	30.55				46.6800	1.7306	0.335		0.9633	0.0487
69	6500	7.98	32.55				66.9400		0.1056		1.1759	
70	6900	8.47	34.55						0.8576		2.6118	
71	6500	7.98	32.55						0.8632		3.5459	
72	6100	7.49	30.55						0.8562		3.7085	
73	5700	7.00	28.54						0.8423		3.7183	
74	2800	3.44	14.02						0.638		3.7349	
75	0	0.00	0.00						0.3308		4.0936	
76	2800	3.44	14.02						0.4712		4.3604	
77	5700	7.00	28.54						0.7603		4.3007	
78	6100	7.49	30.55						0.8062		4.2173	
79	6500	7.98	32.55						0.8827			
80	6900	8.47	34.55						1.1634			
81	6500	7.98	32.55						1.1593			
82	6100	7.49	30.55						1.1384			
83	5700	7.00	28.54						1.1231			
84	2800	3.44	14.02						0.8604			
85	0	0.00	0.00						0.5004			
86	3700	4.54	18.53						0.802			
87	7300	8.97	36.56						0.7895			
88	7650	9.40	38.31									



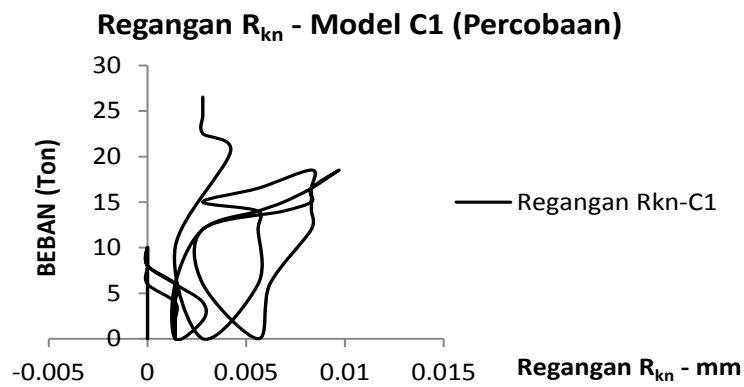
Gambar L4.64 Grafik beban vs Regangan Rkn benda uji model-B1



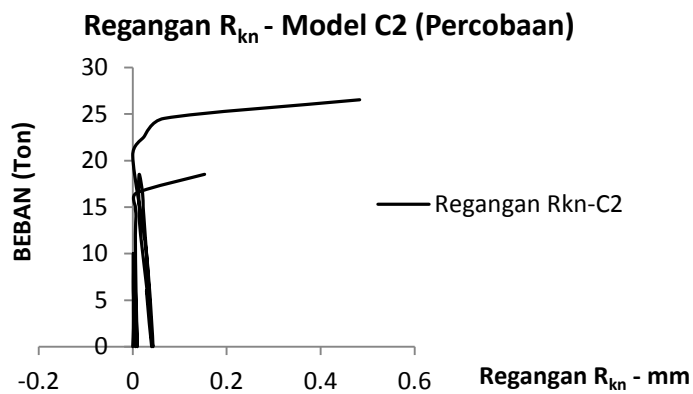
Gambar L4.65 Grafik beban vs Regangan Rkn benda uji model-B2



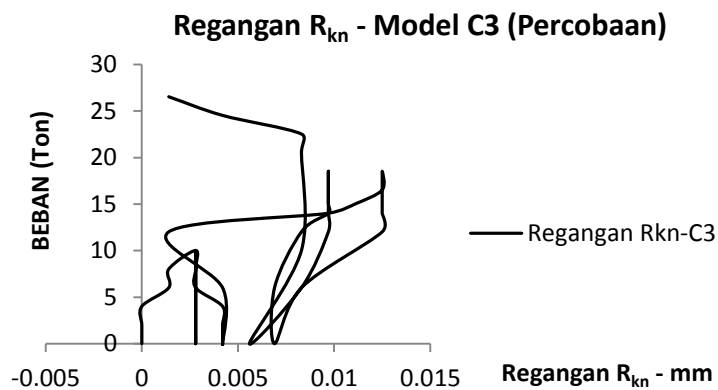
Gambar L4.66 Grafik beban vs Regangan Rkn benda uji model-B3



Gambar L4.67 Grafik beban vs Regangan Rkn benda uji model-C1



Gambar L4.68 Grafik beban vs Regangan Rkn benda uji model-C2



Gambar L4.69 Grafik beban vs Regangan Rkn benda uji model-C3

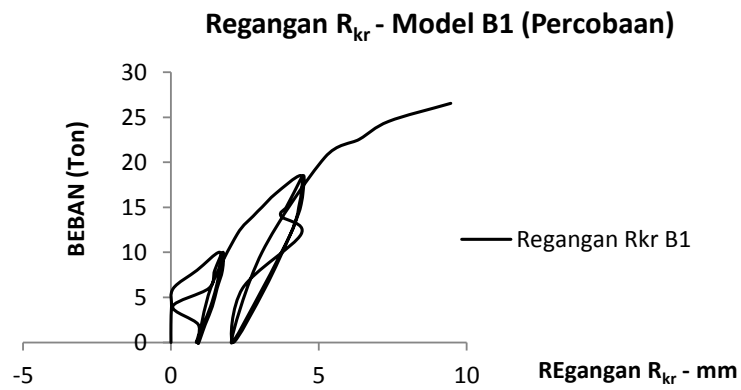
Tabel L4.9 Deformasi regangan Rkr untuk benda uji model-B dan model-C

STEP	BEBAN UJI			MODEL - A			MODEL - B			MODEL - C		
	Psi	Mpa	Ton	Regangan Rkr			Regangan Rkr			Regangan Rkr		
				07/09	22/09	30/09	17/09	23/09	29/09	14/09	18/09	25/09
				A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
				mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1	0	0	0				0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	400	0.49	2.00				0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3	800	0.98	4.01				0.0200	0.0000	0.0000	0.0014	0.0014	0.0000
4	1200	1.47	6.01				0.0800	0.0014	0.0000	0.0014	0.0014	0.0000
5	1600	1.97	8.01				0.8800	0.0028	0.0028	0.0014	0.0014	0.0014
6	2000	2.46	10.02				1.6400	0.0107	0.0056	0.0042	0.0014	0.0028
7	1600	1.97	8.01				1.6400	0.0107	0.0069	0.0056	0.0014	0.0028
8	1200	1.47	6.01				1.5200	0.0100	0.0069	0.0056	0.0014	0.0028
9	800	0.98	4.01				1.3400	0.0089	0.0069	0.0056	0.0014	0.0026
10	400	0.49	2.00				1.1000	0.0071	0.0083	0.0056	0.0014	0.0020
11	0	0.00	0.00				0.8600	0.0046	0.0083	0.0042	0.0014	0.0014
12	400	0.49	2.00				0.9200	0.0056	0.0083	0.0042	0.0014	0.0014
13	800	0.98	4.01				0.0600	0.0074	0.0083	0.0042	0.0014	0.0016
14	1200	1.47	6.01				1.2800	0.0089	0.0083	0.0042	0.0014	0.0020
15	1600	1.97	8.01				1.4800	0.0102	0.0083	0.0056	0.0014	0.0026
16	2000	2.46	10.02				1.7600	0.0115	0.0083	0.0056	0.0014	0.0028
17	1600	1.97	8.01				1.7400	0.0113	0.0097	0.0056	0.0014	0.0028
18	1200	1.47	6.01				1.5600	0.0100	0.0097	0.0056	0.0014	0.0028
19	800	0.98	4.01				1.4000	0.0090	0.0111	0.0056	0.0028	0.0028
20	400	0.49	2.00				1.1600	0.0072	0.0111	0.0042	0.0028	0.0026
21	0	0.00	0.00				0.9200	0.0045	0.0111	0.0042	0.0028	0.0020
22	1200	1.47	6.01				1.3400	0.0066	0.0111	0.0056	0.0028	0.0020
23	2400	2.95	12.02				2.2400	0.0094	0.0111	0.0069	0.0014	0.0028
24	2800	3.44	14.02				2.7800	0.0490	0.0111	0.2090	0.0014	0.0259
25	3000	3.68	15.02				3.0800	0.0840	0.0097	0.2254	0.0028	0.0639
26	3300	4.05	16.53				3.5400	0.1180	0.0083	0.1501	0.0028	0.1015
27	3700	4.54	18.53				4.3800	0.1840	0.0250	0.1515	0.0042	0.1807
28	3300	4.05	16.53				4.4000	0.1699	0.0209	0.1501		0.1890
29	3000	3.68	15.02				4.3200	0.1571	0.0195	0.1501		0.1876
30	2800	3.44	14.02				4.2600	0.1543	0.0181	0.1473	0.0931	0.1849
31	2400	2.95	12.02				4.0400	0.1446	0.0153	0.1209		0.1807
32	1200	1.47	6.01				3.1800	0.1195	0.0056	0.1251	0.0945	0.1501
33	0	0.00	0.00				2.1000	0.0598	0.0028	0.1432	0.0973	0.1029
34	1200	1.47	6.01				2.4200	0.0959	0.0028	0.1510	0.0945	0.1237
35	2400	2.95	12.02				4.4000	0.1251	0.0056	0.1640	0.0945	0.1585
36	2800	3.44	14.02				3.7200	0.1334	0.0097	0.1724	0.0931	0.1710
37	3000	3.68	15.02				3.9000	0.1390	0.0111	0.1737	0.0945	0.1765
38	3300	4.05	16.53				4.1400	0.1446	0.0139	0.1724	0.0931	0.1835
39	3700	4.54	18.53				4.4800	0.1615	0.0195	0.1737	0.0931	0.2002
40	3300	4.05	16.53				4.4600	0.1587	0.0195	0.1571	0.0917	0.2029
41	3000	3.68	15.02				4.3800	0.1546	0.0181	0.1190	0.0917	0.2002
42	2800	3.44	14.02				4.2800	0.1518	0.0167	0.1515	0.0917	0.1988
43	2400	2.95	12.02				4.0400	0.1334	0.0125	0.1849	0.0917	0.1932
44	1200	1.47	6.01				3.1000	0.1056	0.0028	0.1376	0.0931	0.1626
45	0	0.00	0.00				2.0400	0.0587	0.0069	0.0236	0.0973	0.1112
46	2000	2.46	10.02				3.0800	0.1029	0.0042	0.2168	0.0931	0.1599
47	4100	5.04	20.53				5.2000	0.1945	0.0334	0.2474	0.0917	0.2865
48	4500	5.53	22.53				6.3600	0.2100	0.0528	0.2460	0.0945	0.3414
49	4900	6.02	24.54				7.3600	0.2413	0.0612	0.2307	0.0959	0.4338
50	5300	6.51	26.54				9.4600	0.3800	0.0681	0.1029	0.0987	0.5894

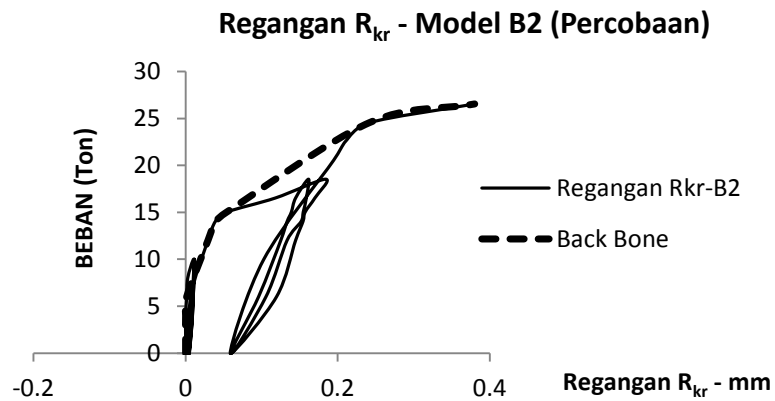


Tabel L4.9 (Lanjutan)

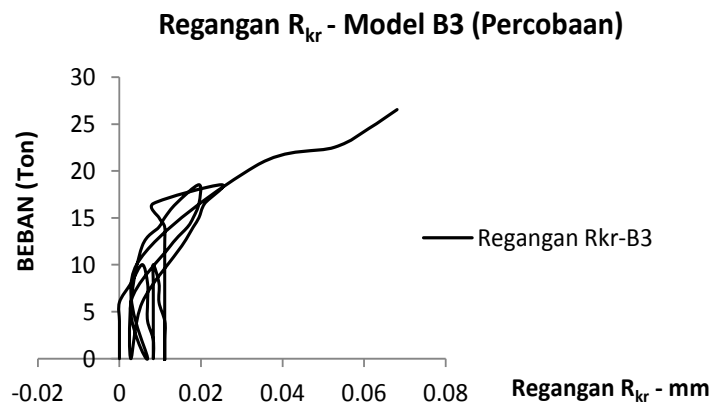
STEP	BEBAN UJI			MODEL - A			MODEL - B			MODEL - C		
	Psi	Mpa	Ton	Regangan Rkr			Regangan Rkr			Regangan Rkr		
				07/09	22/09	30/09	17/09	23/09	29/09	14/09	18/09	25/09
				A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
				mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
51	4900	6.02	24.54				9.5200	0.2669	0.0681	0.0056	0.1001	0.5880
52	4500	5.53	22.53				9.4400	0.2655	0.0667	0.0250	0.1001	0.5852
53	4100	5.04	20.53				9.1800	0.2627	0.0639	0.1765	0.1005	0.5796
54	2000	2.46	10.02				7.1000	0.2002	0.0514	0.2127	0.1056	0.5282
55	0	0.00	0.00				4.2600	0.1376	0.0097	0.2544	0.1070	0.4045
56	2000	2.46	10.02				5.6000	0.1501	0.0222	0.4198	0.1029	0.4782
57	4100	5.04	20.53				8.2200	0.2002	0.0459	0.4365	0.1015	0.5560
58	4500	5.53	22.53				8.7600	0.2016	0.0500	0.4365	0.1015	0.5685
59	4900	6.02	24.54				9.3600	0.1946	0.0542	0.4281	0.1001	0.5796
60	5300	6.51	26.54				10.4800	0.1835	0.0598	0.2349	0.1029	0.5894
61	4900	6.02	24.54				10.6400	0.1807	0.0584	0.0417	0.1029	0.5907
62	4500	5.53	22.53				10.5400	0.1821	0.0556	0.2113	0.1042	0.5880
63	4100	5.04	20.53				10.3200	0.1876	0.0528	1.0175	0.1042	0.5810
64	2000	2.46	10.02				7.8600	0.2043	0.0334	2.6007	0.1084	0.5282
65	0	0.00	0.00				4.7400	0.1654	0.0056	4.0810	0.1098	0.4114
66	2800	3.44	14.02				7.4800	0.1710	0.0111	4.4897	0.1056	0.5199
67	5700	7.00	28.54				13.4200	0.1960	0.0514		0.1042	0.5963
68	6100	7.49	30.55				18.8000	0.8451	0.0389		0.1001	0.6074
69	6500	7.98	32.55				24.0200		0.0792		0.1070	
70	6900	8.47	34.55				56.6600		0.1835		0.1084	
71	6500	7.98	32.55						0.1849		0.1070	
72	6100	7.49	30.55						0.1849		0.1084	
73	5700	7.00	28.54						0.1835		0.1070	
74	2800	3.44	14.02						0.1793		0.1084	
75	0	0.00	0.00						0.1793		0.1126	
76	2800	3.44	14.02						0.1724		0.1126	
77	5700	7.00	28.54						0.1751		0.1112	
78	6100	7.49	30.55						0.1751		0.1112	
79	6500	7.98	32.55						0.1779			
80	6900	8.47	34.55						0.1765			
81	6500	7.98	32.55						0.1779			
82	6100	7.49	30.55						0.1779			
83	5700	7.00	28.54						0.1765			
84	2800	3.44	14.02						0.1710			
85	0	0.00	0.00						0.1765			
86	3700	4.54	18.53						0.1654			
87	7300	8.97	36.56						0.3280			
88	7650	9.40	38.31									



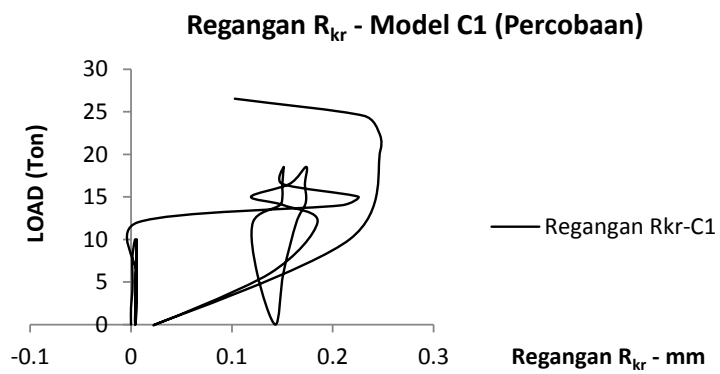
Gambar L4.70 Grafik beban vs Regangan Rkr benda uji model-B1



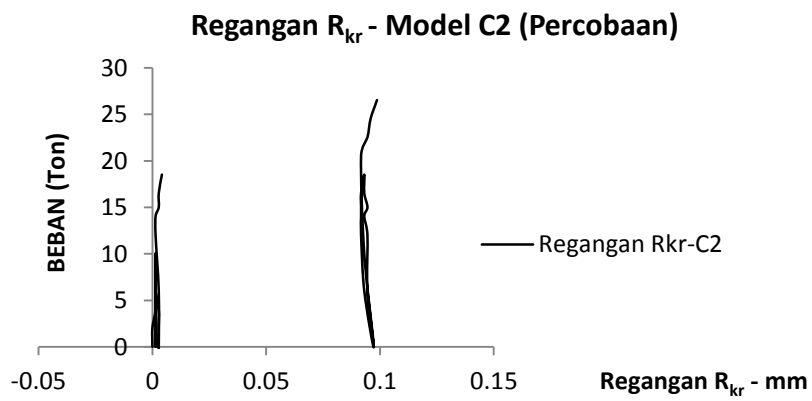
Gambar L4.71 Grafik beban vs Regangan Rkr benda uji model-B2



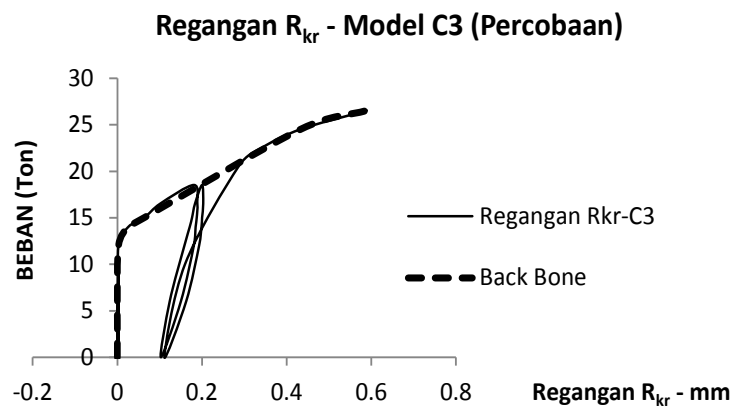
Gambar L4.72 Grafik beban vs Regangan Rkr benda uji model-B3



Gambar L4.73 Grafik beban vs Regangan Rkr benda uji model-B3



Gambar L4.74 Grafik beban vs Regangan Rkr benda uji model-C2



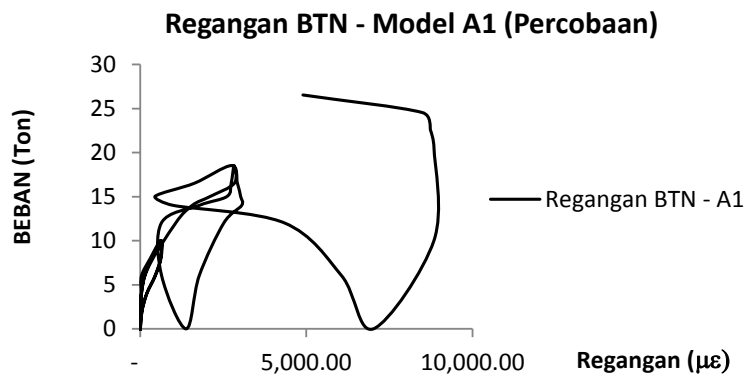
Gambar L4.75 Grafik beban vs Regangan Rkr benda uji model-C3

Tabel L4.10 Regangan beton tengah bentang sisi bawah arah-X (Strain gauge BTN)

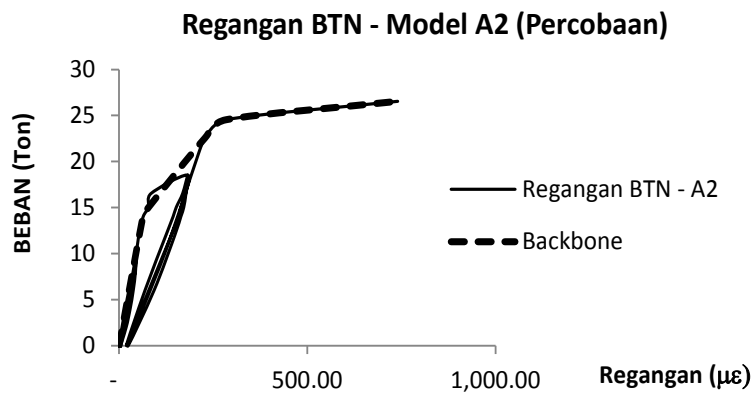
STEP	LOAD			REGANGAN BTN - MODEL A			REGANGAN BTN - MODEL B			REGANGAN BTN - MODEL C		
	Psi	Mpa	Ton	SG 7/BTN			LVDT 9/BTN			LVDT 9/BTN		
				07/09	22/09	30/09	17/09	23/09	29/09	14/09	18/09	25/09
				A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
				με	με	με	με	με	με	με	με	με
1	0	0	0	-	-	-		-	-	-	-	-
2	400	0.49	2.00	8.00	7.65	10.00		6.50	7.00	5.00	22.00	10.00
3	800	0.98	4.01	32.00	16.47	23.00		14.00	16.00	10.00	43.00	23.00
4	1200	1.47	6.01	42.00	25.88	37.00		20.50	30.00	19.00	68.00	31.00
5	1600	1.97	8.01	309.00	37.06	58.00		26.50	40.00	29.00	91.00	41.00
6	2000	2.46	10.02	624.00	44.71	84.00		34.50	52.00	50.00	114.00	53.00
7	1600	1.97	8.01	619.00	42.35	81.00		29.50	50.00	55.00	106.00	51.00
8	1200	1.47	6.01	453.00	31.76	66.00		22.00	42.00	44.00	88.00	41.00
9	800	0.98	4.01	204.00	22.35	50.00		15.50	33.00	34.00	66.00	32.00
10	400	0.49	2.00	56.00	12.35	31.00		8.00	26.00	28.00	40.00	18.00
11	0	0.00	0.00	6.00	1.18	13.00		1.50	16.00	17.00	10.00	3.00
12	400	0.49	2.00	13.00	11.76	27.00		7.40	23.00	25.00	34.00	16.00
13	800	0.98	4.01	40.00	21.76	40.00		14.50	30.00	30.00	52.00	27.00
14	1200	1.47	6.01	138.00	31.18	55.00		20.50	38.00	34.00	72.00	39.00
15	1600	1.97	8.01	344.00	40.00	70.00		28.00	46.00	47.00	94.00	47.00
16	2000	2.46	10.02	637.00	45.88	88.00		38.00	54.00	53.00	113.00	59.00
17	1600	1.97	8.01	628.00	43.53	83.00		32.00	50.00	52.00	107.00	51.00
18	1200	1.47	6.01	451.00	37.65	68.00		23.50	43.00	45.00	86.00	45.00
19	800	0.98	4.01	199.00	29.41	51.00		14.50	34.00	41.00	63.00	37.00
20	400	0.49	2.00	56.00	18.82	33.00		8.50	26.00	24.00	41.00	24.00
21	0	0.00	0.00	7.00	2.35	15.00		2.50	17.00	21.00	10.00	5.00
22	1200	1.47	6.01	143.00	32.94	60.00		24.50	40.00	35.00	35.00	40.00
23	2400	2.95	12.02	1,073.00	52.35	123.00		50.43	64.00	109.00	50.63	76.42
24	2800	3.44	14.02	1,572.00	64.12	392.00		55.65	49.00	96.00	59.38	89.62
25	3000	3.68	15.02	2,108.00	78.23	940.00		68.72	35.00	35.00	66.88	100.94
26	3300	4.05	16.53	2,836.00	94.82	1,266.00		85.99	23.00	35.00	112.50	169.81
27	3700	4.54	18.53	2,825.00	179.41	1,355.00		162.00	10.00	37.00	117.00	302.00
28	3300	4.05	16.53	2,740.00	177.06	1,324.00		158.50	5.00	33.00	102.00	300.00
29	3000	3.68	15.02	2,614.00	164.12	1,287.00		150.00	5.00	31.00	81.00	285.00
30	2800	3.44	14.02	1,787.00	158.24	1,200.00		145.50	4.00	29.00	68.00	273.00
31	2400	2.95	12.02	641.00	138.82	1,105.00		134.50	4.00	24.00	23.00	248.00
32	1200	1.47	6.01	649.00	78.82	722.00		90.50	3.00	30.00	19.00	141.00
33	0	0.00	0.00	1,382.00	19.41	422.00		21.40	-	32.00	12.00	31.00
34	1200	1.47	6.01	1,776.36	68.82	497.00		66.50	10.00	34.00	15.00	102.00
35	2400	2.95	12.02	2,519.00	124.71	800.00		104.70	9.00	35.00	21.00	212.00
36	2800	3.44	14.02	3,058.00	143.53	924.00		120.00	7.00	36.00	23.00	238.00
37	3000	3.68	15.02	3,024.00	151.76	984.00		139.40	7.00	37.00	24.00	254.00
38	3300	4.05	16.53	2,927.00	168.82	1,080.00		159.40	7.00	35.00	26.00	274.00
39	3700	4.54	18.53	2,749.00	182.94	129.00		190.50	-	34.00	21.00	296.00
40	3300	4.05	16.53	1,635.00	177.65	1,250.00		178.70	4.00	29.00	11.00	287.00
41	3000	3.68	15.02	447.00	171.76	1,218.00		169.50	4.00	29.00	14.00	275.00
42	2800	3.44	14.02	982.00	164.12	1,150.00		157.50	4.00	34.00	12.00	267.00
43	2400	2.95	12.02	4,342.00	148.24	1,055.00		145.50	2.00	51.00	10.00	241.00
44	1200	1.47	6.01	6,065.00	92.94	630.00		85.50	-	80.00	18.00	152.00
45	0	0.00	0.00	7,019.00	22.94	386.00		32.00	-	107.00	23.00	44.00
46	2000	2.46	10.02	8,839.00	121.18	672.00		84.50	5.00	173.00	9.00	167.00
47	4100	5.04	20.53	8,840.00	208.24	1,501.00		200.80	13.00	199.00	3.00	312.00
48	4500	5.53	22.53	8,736.00	227.65	1,582.00		230.70	12.00	198.00	10.00	342.00
49	4900	6.02	24.54	8,495.00	284.12	2,656.00		402.00	31.00	188.00	30.00	836.00
50	5300	6.51	26.54	4,898.00	740.00	3,117.00		728.70	28.00	149.00		1,263.00

Tabel L4.10 (Lanjutan)

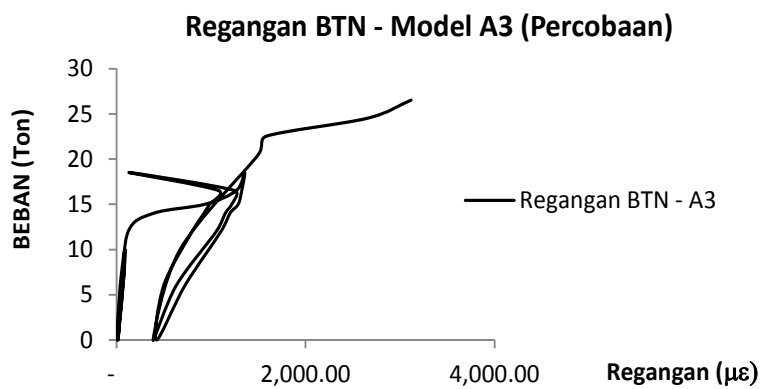
STEP	LOAD			REGANGAN BTN - MODEL A			REGANGAN BTN - MODEL B			REGANGAN BTN - MODEL C		
	Psi	Mpa	Ton	SG 7/BTN			LVDT 9/BTN			LVDT 9/BTN		
				07/09	22/09	30/09	17/09	23/09	29/09	14/09	18/09	25/09
				A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
				με	με	με	με	με	με	με	με	με
51	4900	6.02	24.54	1,123.00	665.29	3,188.00		591.40	25.00	128.00		1,849.00
52	4500	5.53	22.53	2,692.00	1,361.76	3,203.00		98.00	25.00	148.00		1,835.00
53	4100	5.04	20.53	7,038.00	972.35	3,110.00		28.80	24.00	190.00		1,792.00
54	2000	2.46	10.02	7,802.00	576.47	2,439.00		13.40	14.00	198.00		1,578.00
55	0	0.00	0.00	8,596.00	192.94	1,623.00		9.50	8.00	206.00		1,208.00
56	2000	2.46	10.02	9,824.00	70.59	2,117.00		12.00	6.00	322.00		1,257.00
57	4100	5.04	20.53	9,776.00	26.47	2,916.00		20.00	14.00	380.00		1,655.00
58	4500	5.53	22.53	9,628.00	32.94	3,096.00		22.00	17.00	381.00		1,762.00
59	4900	6.02	24.54	9,273.00	52.35	3,347.00		24.70	18.00	375.00		1,870.00
60	5300	6.51	26.54	4,942.00	71.18	3,761.00		27.40	16.00	334.00		2,136.00
61	4900	6.02	24.54	964.00	52.35	3,811.00		27.40	16.00	313.00		2,168.00
62	4500	5.53	22.53	5,035.00	25.29	3,758.00		25.40	16.00	348.00		2,152.00
63	4100	5.04	20.53	11,890.00	8.24	3,659.00		21.40	15.00	1,410.00		2,106.00
64	2000	2.46	10.02	13,914.00	11.76	2,875.00		10.70	8.00	4,426.00		1,756.00
65	0	0.00	0.00		14.71	1,790.00		8.00	3.00			1,281.00
66	2800	3.44	14.02		5.29	2,779.00		12.50	4.00			1,500.00
67	5700	7.00	28.54		5.88	3,277.00		30.00	15.00			3,725.00
68	6100	7.49	30.55		5.88	4,915.00		33.40	14.00			4,341.00
69	6500	7.98	32.55		6.47	5,268.00			23.00			
70	6900	8.47	34.55		6.47	5,959.00			25.00			
71	6500	7.98	32.55		5.88	5,218.00			25.00			
72	6100	7.49	30.55		5.88	4,867.00			26.00			
73	5700	7.00	28.54		5.88	4,176.00			26.00			
74	2800	3.44	14.02		5.29	3,562.00			25.00			
75	0	0.00	0.00		7.06	3,396.00			25.00			
76	2800	3.44	14.02		1.76	4,339.00			19.00			
77	5700	7.00	28.54		5.29	5,408.00			18.00			
78	6100	7.49	30.55		5.29	5,623.00			17.00			
79	6500	7.98	32.55		5.29	5,540.00			15.00			
80	6900	8.47	34.55		5.88	4,950.00			6.00			
81	6500	7.98	32.55		5.88				4.00			
82	6100	7.49	30.55		5.88				7.00			
83	5700	7.00	28.54		4.12				9.00			
84	2800	3.44	14.02		4.12				9.00			
85	0	0.00	0.00		4.71				9.00			
86	3700	4.54	18.53		3.53				9.00			
87	7300	8.97	36.56		4.12							
88	7650	9.40	38.31									



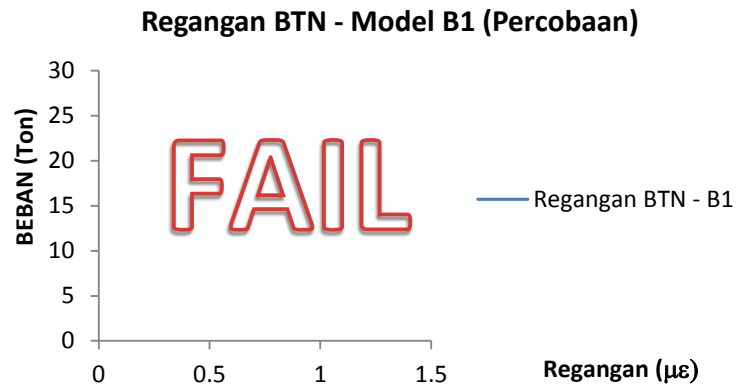
Gambar L4.76 Grafik beban vs regangan BTN benda uji model-A1



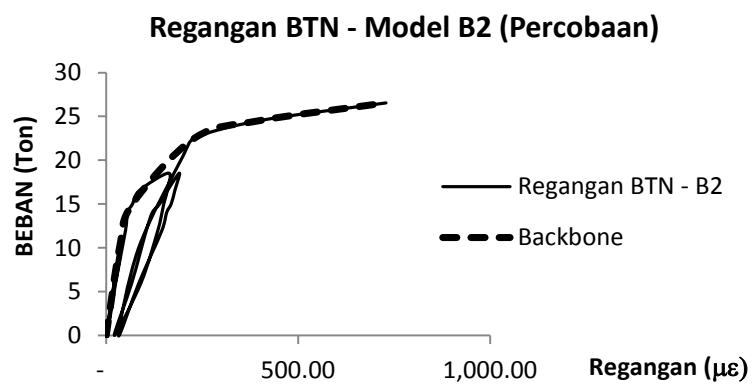
Gambar L4.77 Grafik beban vs regangan BTN benda uji model-A2



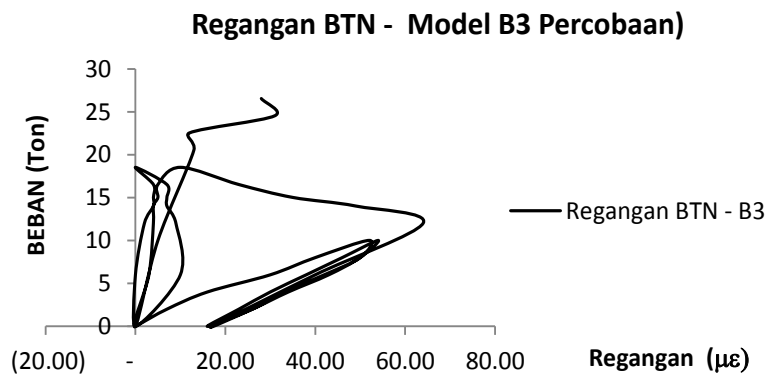
Gambar L4.78 Grafik beban vs regangan BTN benda uji model-A3



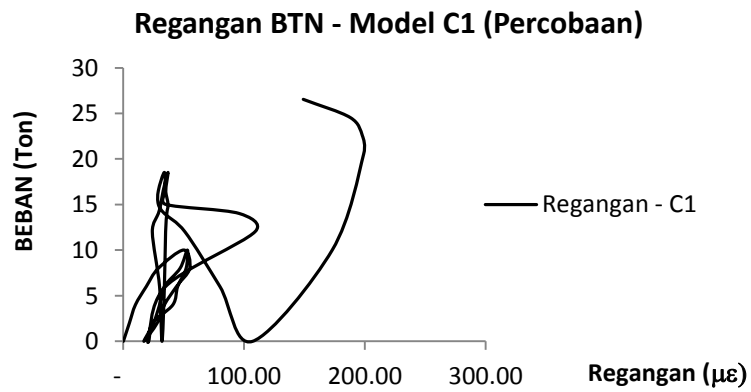
Gambar L4.79 Grafik beban vs regangan BTN benda uji model-B1



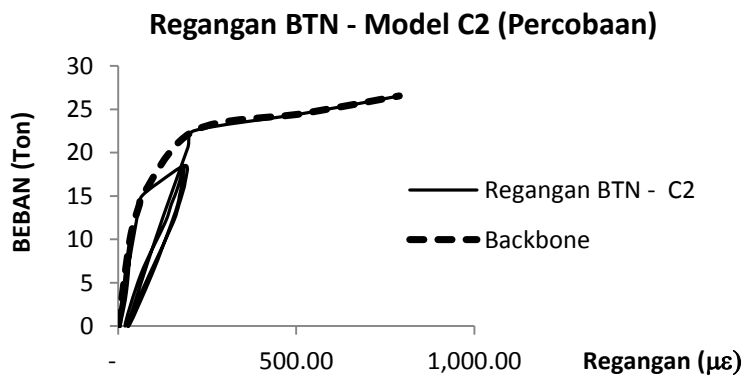
Gambar L4.80 Grafik beban vs regangan BTN benda uji model-B2



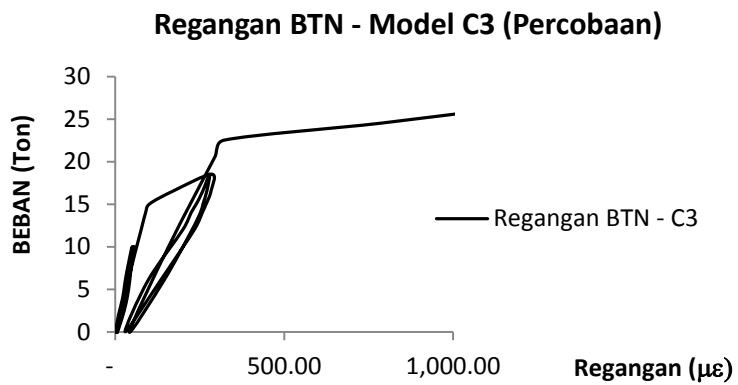
Gambar L4.81 Grafik beban vs regangan BTN benda uji model-B3



Gambar L4.82 Grafik beban vs regangan BTN benda uji model-B3



Gambar L4.83 Grafik beban vs regangan BTN benda uji model-C2



Gambar L4.84 Grafik beban vs regangan BTN benda uji model-C3



## Lampiran 5: Hasil analisis *FEM*

Tabel L5.1 Lendutan dan regangan beton sisi bawah di tengah bentang hasil analisis *FEM*

STEP	LOAD			LENDUTAN TENGAH BENTANG			REGANGAN BETON (BTN)		
	Psi	Mpa	Ton	MODEL-A	MODEL-B	MODEL-C	MODEL-A	MODEL-B	MODEL-C
				mm	mm	mm	$\mu\epsilon$	$\mu\epsilon$	$\mu\epsilon$
1	0	0	0	-	-	-	-	-	-
2	400	0.49	2.00	0.03	0.04	0.04	11.47	9.21	9.11
3	800	0.98	4.01	0.06	0.08	0.08	22.93	18.41	18.21
4	1200	1.47	6.01	0.09	0.12	0.12	34.40	27.61	27.32
5	1600	1.97	8.01	0.12	0.17	0.16	46.10	37.01	36.61
6	2000	2.46	10.02	0.15	0.21	0.20	57.57	46.21	45.72
7	1600	1.97	8.01	0.12	0.17	0.16	46.12	37.02	36.62
8	1200	1.47	6.01	0.09	0.12	0.12	34.41	27.62	27.33
9	800	0.98	4.01	0.06	0.08	0.08	22.94	18.41	18.22
10	400	0.49	2.00	0.03	0.04	0.04	11.47	9.21	9.11
11	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	400	0.49	2.00	0.03	0.04	0.04	11.47	9.21	9.11
13	800	0.98	4.01	0.06	0.08	0.08	22.93	18.41	18.21
14	1200	1.47	6.01	0.09	0.12	0.12	34.40	27.61	27.32
15	1600	1.97	8.01	0.12	0.17	0.16	46.10	37.01	36.61
16	2000	2.46	10.02	0.15	0.21	0.20	57.57	46.21	45.72
17	1600	1.97	8.01	0.12	0.17	0.16	46.12	37.02	36.62
18	1200	1.47	6.01	0.09	0.12	0.12	34.41	27.62	27.33
19	800	0.98	4.01	0.06	0.08	0.08	22.94	18.41	18.22
20	400	0.49	2.00	0.03	0.04	0.04	11.47	8.83	9.11
21	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22	1200	1.47	6.01	0.10	0.12	0.12	34.40	27.62	27.32
23	2400	2.95	12.02	0.20	0.25	0.24	69.04	55.42	54.83
24	2800	3.44	14.02	0.23	0.29	0.28	80.51	64.62	63.93
25	3000	3.68	15.02	0.26	0.31	0.30	86.12	73.94	70.75
26	3300	4.05	16.53	0.28	0.34	0.42	97.91	90.01	127.58
27	3700	4.54	18.53	0.35	0.45	0.51	178.29	161.47	178.17
28	3300	4.05	16.53	0.31	0.41	0.46	163.33	157.02	165.38
29	3000	3.68	15.02	0.29	0.39	0.42	152.01	147.17	155.71
30	2800	3.44	14.02	0.27	0.36	0.39	144.39	140.51	149.19
31	2400	2.95	12.02	0.23	0.32	0.34	129.13	127.22	136.16
32	1200	1.47	6.01	0.12	0.18	0.18	83.88	90.14	98.84
33	0	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	38.84	45.39	50.37
34	1200	1.47	6.01	0.12	0.18	0.18	83.86	90.04	98.74
35	2400	2.95	12.02	0.23	0.33	0.34	129.11	126.84	136.10

Tabel L5.1 (Lanjutan)

STEP	LOAD			LENDUTAN TENGAH BENTANG			REGANGAN BETON (BTN)		
	Psi	Mpa	Ton	MODEL-A	MODEL-B	MODEL-C	MODEL-A	MODEL-B	MODEL-C
				mm	mm	mm	$\mu\epsilon$	$\mu\epsilon$	$\mu\epsilon$
36	2800	3.44	14.02	0.27	0.38	0.39	144.35	140.07	148.95
37	3000	3.68	15.02	0.29	0.41	0.42	151.97	147.15	155.70
38	3300	4.05	16.53	0.31	0.45	0.45	163.29	157.02	165.33
39	3700	4.54	18.53	0.35	0.51	0.51	178.30	190.30	178.24
40	3300	4.05	16.53	0.31	0.46	0.46	163.33	177.04	165.43
41	3000	3.68	15.02	0.29	0.42	0.42	152.01	167.02	155.77
42	2800	3.44	14.02	0.27	0.40	0.39	144.39	160.77	149.24
43	2400	2.95	12.02	0.23	0.34	0.34	129.13	146.74	136.22
44	1200	1.47	6.01	0.12	0.19	0.18	83.88	109.54	98.90
45	0	0.00	0.00	0.01	0.03	0.03	38.84	55.05	50.53
46	2000	2.46	10.02	0.19	0.29	0.28	114.11	133.27	123.20
47	4100	5.04	20.53	0.39	0.58	0.58	211.29	236.83	224.83
48	4500	5.53	22.53	0.44	0.68	0.65	254.72	348.82	332.37
49	4900	6.02	24.54	0.49	0.78	0.74	310.88	465.11	484.48
50	5300	6.51	26.54	0.85	0.89	1.84	582.81	608.88	616.00
51	4900	6.02	24.54	0.51	0.84	0.83	365.20	589.69	605.05
52	4500	5.53	22.53						

Tabel L5.2 Regangan baja tulangan tarik (Regangan BL dan BD) hasil analisis FEM

STEP	LOAD			REGANGAN BAJA TARIK (BL)			REGANGAN BAJA TARIK (BD)		
	Psi	Mpa	Ton	MODEL-A	MODEL-B	MODEL-C	MODEL-A	MODEL-B	MODEL-C
				$\mu\epsilon$	$\mu\epsilon$	$\mu\epsilon$	$\mu\epsilon$	$\mu\epsilon$	$\mu\epsilon$
1	0	0	0	-	-	-	-	-	-
2	400	0.49	2.00	11.48	11.84	12.15	11.47	9.21	9.11
3	800	0.98	4.01	22.96	23.67	24.31	22.93	18.41	18.21
4	1200	1.47	6.01	34.44	35.51	36.47	34.40	27.61	27.32
5	1600	1.97	8.01	46.16	47.59	48.87	46.10	37.01	36.61
6	2000	2.46	10.02	57.64	59.43	61.03	57.57	46.21	45.72
7	1600	1.97	8.01	46.18	47.61	48.89	46.12	37.02	36.62
8	1200	1.47	6.01	34.46	35.53	36.48	34.41	27.62	27.33
9	800	0.98	4.01	22.97	23.68	24.32	22.94	18.41	18.22
10	400	0.49	2.00	11.49	11.84	12.16	11.47	9.21	9.11
11	0	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
12	400	0.49	2.00	11.48	11.84	12.16	11.47	9.21	9.11
13	800	0.98	4.01	22.96	23.67	24.31	22.93	18.41	18.21
14	1200	1.47	6.01	34.44	35.51	36.47	34.40	27.61	27.32
15	1600	1.97	8.01	46.16	47.59	48.87	46.10	37.01	36.61
16	2000	2.46	10.02	57.64	59.43	61.03	57.57	46.21	45.72
17	1600	1.97	8.01	46.18	47.61	48.89	46.12	37.02	36.62
18	1200	1.47	6.01	34.46	35.53	36.48	34.41	27.62	27.33
19	800	0.98	4.01	22.97	23.68	24.32	22.94	18.41	18.22
20	400	0.49	2.00	11.49	11.36	12.16	11.47	8.83	9.11
21	0	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
22	1200	1.47	6.01	34.45	35.51	36.47	34.40	27.62	27.32
23	2400	2.95	12.02	69.13	71.27	73.19	69.04	55.42	54.83
24	2800	3.44	14.02	80.61	83.11	85.35	80.51	64.62	63.93
25	3000	3.68	15.02	86.24	94.65	96.53	84.12	73.94	70.75
26	3300	4.05	16.53	98.16	205.44	227.30	87.91	90.01	127.58
27	3700	4.54	18.53	178.62	410.51	435.79	178.29	161.47	178.17
28	3300	4.05	16.53	163.65	402.62	412.57	163.33	157.02	165.38
29	3000	3.68	15.02	152.32	385.11	394.97	152.01	147.17	155.71
30	2800	3.44	14.02	144.69	373.26	383.10	144.39	140.51	149.19
31	2400	2.95	12.02	129.43	349.65	359.41	129.13	127.22	136.16
32	1200	1.47	6.01	84.15	289.62	304.69	83.88	90.14	98.84
33	0	0.00	0.00	39.08	144.71	209.36	38.84	45.39	50.37
34	1200	1.47	6.01	84.14	289.36	304.45	83.86	90.04	98.74
35	2400	2.95	12.02	129.40	348.51	359.19	129.11	126.84	136.10

Tabel L5.2 (Lanjutan)

STEP	LOAD			REGANGAN BAJA TARIK (BL)			REGANGAN BAJA TARIK (BD)		
	Psi	Mpa	Ton	MODEL-A	MODEL-B	MODEL-C	MODEL-A	MODEL-B	MODEL-C
				με	με	με	με	με	με
36	2800	3.44	14.02	144.66	371.99	382.31	144.35	140.07	148.95
37	3000	3.68	15.02	152.28	385.06	394.94	151.97	147.15	155.70
38	3300	4.05	16.53	163.61	402.61	412.42	163.29	157.02	165.33
39	3700	4.54	18.53	178.62	445.94	436.00	178.30	190.30	178.24
40	3300	4.05	16.53	163.65	422.55	412.73	163.33	177.04	165.43
41	3000	3.68	15.02	152.32	404.85	395.13	152.01	167.02	155.77
42	2800	3.44	14.02	144.69	394.45	383.26	144.39	160.77	149.24
43	2400	2.95	12.02	129.43	369.06	359.57	129.13	146.74	136.22
44	1200	1.47	6.01	84.16	314.14	304.86	83.88	109.54	98.90
45	0	0.00	0.00	39.09	169.89	209.81	38.84	55.05	50.53
46	2000	2.46	10.02	114.40	345.54	336.73	114.11	133.27	123.20
47	4100	5.04	20.53	211.93	605.37	596.95	211.29	236.83	224.83
48	4500	5.53	22.53	255.65	808.63	722.11	254.72	348.82	332.37
49	4900	6.02	24.54	311.51	916.00	810.24	310.88	465.11	484.48
50	5300	6.51	26.54	385.54	984.84	981.78	382.81	608.88	616.00
51	4900	6.02	24.54	368.04	957.34	869.17	365.20	589.69	605.05
52	4500	5.53	22.53						

Tabel L5.3 Regangan baja tulangan tekan (Regangan AL dan AD) hasil analisis FEM

STEP	LOAD			REGANGAN BAJA TEKAN (AL)			REGANGAN BAJA TEKAN (AD)		
	Psi	Mpa	Ton	MODEL-A	MODEL-B	MODEL-C	MODEL-A	MODEL-B	MODEL-C
				$\mu\epsilon$	$\mu\epsilon$	$\mu\epsilon$	$\mu\epsilon$	$\mu\epsilon$	$\mu\epsilon$
1	0	0	0	-	-	-	-	-	-
2	400	0.49	2.00	-10.42	-8.26	-7.69	-10.41	-6.35	-6.20
3	800	0.98	4.01	-20.84	-16.52	-15.38	-20.81	-12.69	-12.39
4	1200	1.47	6.01	-31.25	-24.78	-23.07	-31.21	-19.03	-18.59
5	1600	1.97	8.01	-41.88	-33.20	-30.92	-41.83	-25.50	-24.90
6	2000	2.46	10.02	-52.29	-41.46	-38.60	-52.23	-31.84	-31.09
7	1600	1.97	8.01	-41.90	-33.22	-30.94	-41.85	-25.51	-24.92
8	1200	1.47	6.01	-31.27	-24.79	-23.09	-31.23	-19.04	-18.60
9	800	0.98	4.01	-20.85	-16.53	-15.39	-20.82	-12.70	-12.40
10	400	0.49	2.00	-10.42	-8.27	-7.70	-10.41	-6.35	-6.20
11	0	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.01	0.00	-0.01	-0.01
12	400	0.49	2.00	-10.42	-8.26	-7.69	-10.41	-6.35	-6.20
13	800	0.98	4.01	-20.84	-16.52	-15.38	-20.81	-12.69	-12.39
14	1200	1.47	6.01	-31.25	-24.78	-23.07	-31.21	-19.03	-18.59
15	1600	1.97	8.01	-41.88	-33.20	-30.92	-41.83	-25.50	-24.90
16	2000	2.46	10.02	-52.29	-41.46	-38.60	-52.23	-31.84	-31.09
17	1600	1.97	8.01	-41.90	-33.22	-30.94	-41.85	-25.51	-24.92
18	1200	1.47	6.01	-31.27	-24.79	-23.09	-31.23	-19.04	-18.60
19	800	0.98	4.01	-20.85	-16.53	-15.39	-20.82	-12.69	-12.40
20	400	0.49	2.00	-10.42	-7.93	-7.70	-10.41	-6.09	-6.20
21	0	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.01	0.00	0.00	0.00
22	1200	1.47	6.01	-31.25	-24.78	-23.07	-31.22	-19.03	-18.59
23	2400	2.95	12.02	-62.71	-49.71	-46.29	-62.63	-38.17	-37.28
24	2800	3.44	14.02	-73.12	-57.96	-53.97	-73.03	-44.51	-48.47
25	3000	3.68	15.02	-78.22	-61.85	-67.69	-78.12	-57.81	-56.56
26	3300	4.05	16.53	-86.18	-68.35	-79.81	-86.08	-63.51	-67.12
27	3700	4.54	18.53	-128.63	-85.37	-101.00	-128.47	-87.04	-82.09
28	3300	4.05	16.53	-115.61	-81.86	-91.14	-115.47	-74.87	-74.24
29	3000	3.68	15.02	-105.75	-74.12	-83.65	-105.62	-68.78	-68.28
30	2800	3.44	14.02	-99.11	-68.87	-78.58	-98.99	-64.66	-64.26
31	2400	2.95	12.02	-85.82	-58.42	-68.48	-85.71	-56.45	-56.23
32	1200	1.47	6.01	-46.37	-25.32	-37.34	-46.31	-32.20	-32.87
33	0	0.00	0.00	-6.94	6.51	-7.69	-6.92	-8.47	-9.68
34	1200	1.47	6.01	-46.35	-25.07	-37.10	-46.29	-32.04	-32.72
35	2400	2.95	12.02	-85.78	-57.73	-68.34	-85.68	-55.96	-56.13

Tabel L5.3 (Lanjutan)

STEP	LOAD			REGANGAN BAJA TEKAN (AL)			REGANGAN BAJA TEKAN (AD)		
	Psi	Mpa	Ton	MODEL-A	MODEL-B	MODEL-C	MODEL-A	MODEL-B	MODEL-C
				με	με	με	με	με	με
36	2800	3.44	14.02	-99.07	-68.11	-78.09	-98.94	-64.12	-63.91
37	3000	3.68	15.02	-105.71	-74.09	-83.63	-105.57	-68.76	-68.27
38	3300	4.05	16.53	-115.57	-81.85	-91.04	-115.42	-74.86	-74.17
39	3700	4.54	18.53	-128.63	-95.58	-101.04	-128.47	-85.81	-82.11
40	3300	4.05	16.53	-115.61	-85.29	-91.15	-115.47	-77.73	-74.24
41	3000	3.68	15.02	-105.75	-77.48	-83.66	-105.62	-71.61	-68.29
42	2800	3.44	14.02	-99.11	-73.14	-78.60	-98.98	-68.15	-64.27
43	2400	2.95	12.02	-85.82	-61.68	-68.50	-85.71	-59.21	-56.24
44	1200	1.47	6.01	-46.37	-27.94	-37.35	-46.31	-35.02	-32.88
45	0	0.00	0.00	-6.94	3.49	-7.96	-6.92	-11.49	-9.85
46	2000	2.46	10.02	-72.72	-50.59	-58.07	-72.62	-50.84	-48.19
47	4100	5.04	20.53	-145.55	-123.16	-125.53	-145.32	-97.94	-98.61
48	4500	5.53	22.53	-166.02	-157.32	-141.74	-165.69	-108.09	-115.19
49	4900	6.02	24.54	-188.16	-175.42	-155.43	-187.73	-110.98	-123.12
50	5300	6.51	26.54	-213.94	-178.47	-143.00	-213.20	-103.73	-105.83
51	4900	6.02	24.54	-200.75	-166.22	-134.22	-200.02	-94.21	-103.53
52	4500	5.53	22.53						

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



### I. IDENTITAS PRIBADI

Nama : Djoko Irawan  
NIM : 3113301003  
Tempat/Tgl lahir : Malang/ 13 Pebruari 1959  
Agama : Islam  
Instansi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
NIP : 195902131987011001  
Pangkat/Jabatan : IV-a/Lektor Kepala  
Alamat Rumah : Jl. Semolowaru Indah Blok R-10 - Surabaya - 60119  
Alamat kantor : Jurusan Teknik Sipil – FTSP  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Tilpun 031-5946094, 031-5947284  
E-mail : [djoko.irawan@gmail.com](mailto:djoko.irawan@gmail.com)

### II. RIWAYAT PENDIDIKAN

1966 – 1971 : SD Negeri Sarangan I - Malang  
1972 – 1974 : SMP Nenegri 3 - Malang  
1975 – 1977 : SMA Negeri 3 - Malang  
1978 – 1983 : Sarjana Teknik (Ir.)  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya.  
1992 – 1994 : Magister Teknik Sipil Struktur  
Institut Teknologi Bandung

### **III. RIWAYAT PEKERJAAN**

- 1983 – 1984 : PT. ADHI KARYA (Persero) - Jakarta.
- 1984 – 1985 : PT. ADHI KARYA (Persero) Cabang Palu - Sulawesi Tengah.
- 1985 – 1987 : Pegawai Dit.Jen. Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum  
Pusat, Jakarta.
- 1987 – Sekarang : Tenaga Pengajar di Jurusan Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh NopemberITS.

### **IV. MINAT RISET**

- Analisis Struktur
- Struktur Beton Pracetak

### **V. PENGALAMAN PROFESIONAL**

- 1988 - Anggota Team Perencana Proyek Karangpilang II.
- 1989 - Anggota Team Perencana Proyek Gedung Hidro Dinamika BPPT  
- Anggota Team Peneliti Kerusakan Dermaga Petro Kimia Gresik
- 1990 - Anggota Team Perencana Proyek Tower Preheater - Semen Gresik
- 1991 - Perencana Rumah Sakit PTP Gatoel Mojokerto
- 1992 - Anggota Team Review Design Proyek Pembangunan  
Pabrik Semen Tuban III
- 1993 - Anggota Team Peneliti Keruntuhan LIMESTONE  
STORAGE Pada Proyek Semen Gresik (PT. Wijaya  
Karya)
- 1994 - Perencana Produk Jembatan Rangka Baja WIKA, Jakarta.
- 1995 - Pegawasan Perencanaan Struktur Proyek Relokasi PT.  
IGLAS di Gresik
- 1996 - Structure Engineer Pada Proyek Rehabilitasi Pelabuhan Tanjung Perak  
Surabaya
- Perencana Struktur Proyek Pelabuhan PT.Garam di  
Sampang - Madura
  - Tenaga Ahli Struktur Untuk Kajian Ulang dan Preliminary



Design Proyek Lingkar Timur Surabaya

- Perencana Struktur Proyek Rehabilitasi Pelabuhan Tanjung Perak - Surabaya
- Perencana Struktur Jembatan Steel Box Girder Cileungsi Bogor
- Perencana Struktur Jembatan Viaduk Gubeng Baru
- Evaluasi Desain Casting Bed PT. Semen Gresik

1997 - Tenaga Ahli Struktur Proyek Perencanaan Jembatan Box Girder Cileungsi  
Jawa Barat

- Anggota Tim Perencana Struktur Jembatan Gubeng Surabaya
- Anggota Tim Perencana Sistem Pracetak Gedung OPM PT. Telkom Jember
- Tenaga Ahli Struktur Proyek Perencanaan Cement Silo PT. Semen Gresik di Gresik.
- Tenaga Ahli Proyek Perencanaan Cement Silo PT. Semen Gresik di Semarang.

1998 - Tenaga Ahli Struktur Proyek Perencanaan Jembatan  
Rangka Baja WKA bentang A-40, B-40, A-45, B-45.

- Anggota Tim Peneliti Kerusakan Cooling Water Intake Train A/B, PT. Badak LGN Bontang.

1999 - Tenaga Ahli Struktur Proyek Studi Pengendalian Banjir Sepinggan Balikpapan

- Anggota Tim Peneliti Kerusakan Cooling Water Intake Train C/D, PT. Badak LGN Bontang.

2000 - Tenaga Ahli Struktur Proyek Studi Pengendalian Banjir  
Kampung Timur Balikpapan .

- Anggota Tim Supervisi Perbaikan Kerusakan Cooling Water Intake Train A/B, PT. Badak LGN Bontang.

2001 - Tenaga Ahli Struktur Proyek Perencanaan Gedung Laboratorium Teknik  
Material, FTI – ITS.

- Anggota Tim Peneliti Kerusakan Kolom Pedestal Turbin dan Kompresor Train A, B, C dan D di PT. Badak LGN Bontang.

2002 - Tenaga Ahli Struktur Proyek Master Plan Rumah Sakit Tambakrejo Surabaya.

- Tenaga Ahli Struktur Proyek Perencanaan Tugu Perbatasan Jawa Timur – Jawa Tengah.

2003 - Team Leader Proyek Pembenahan Lingkungan Perkampungan (PLP)  
Kota Surabaya

- 2004 - Tenaga Ahli Struktur Proyek Studi Kelayakan Teknis Pembangunan Galangan Kapal di Kecamatan Paciran Kabupaten Lamongan Milik PT. DOK dan Perkapalan (Persero), Surabaya
- Tenaga Ahli Perencanaan Struktur Gedung Kuliah Jurusan Desain Produk FTSP - ITS
  - Tenaga Ahli Perencanaan Struktur Gedung Kuliah Jurusan Teknik Material FTI - ITS
- 2005 - Tenaga Ahli Perencanaan Struktur Instalasi Pengolahan Air Minum PDAM Surakarta
- Tenaga Ahli Struktur Proyek Perencanaan Kompleks Stadion PON 2008 di Samarinda Kalimantan Timur
- 2006 - Co Team Leader Proyek Konsultansi dan Pendampingan Pembangunan IPAM Karangpilang III – PDAM Kota Surabaya.
- Anggota Tim Studi Kelayakan Teknis pembangunan Galangan Kapal PT. DOK Surabaya di Brondong – Lamongan.
  - Tim Perencana Jembatan Balikpapan Baru di Kota Balikpapan.
  - Anggota Tim Perencana Struktur Kompleks Stadion Palaran Samarinda - Kaltim
- 2007 - Perencana Struktur Jembatan PDAM Kota Balikpapan.
- Perencana Struktur Jembatan Balikpapan Baru – Kota Balikpapan.
  - Perencana Struktur Jembatan Penegak di Kota Balikpapan.
- 2008 - Anggota Tim Perencana Struktur Gedung Poltek Balikpapan - Kota Balikpapan.
- Perencana Struktur Krakatau Engineering Contractor untuk perencanaan Gedung ROP dan NPK Petrokomia Gresik.
  - Tenaga Ahli Struktur Evaluasi Perencana-an WTP Kabupaten Tangerang.
- 2009 - Tenaga Ahli Struktur Evaluasi Perencana-an WTP Kabupaten Tangerang.
- 2010 - Tim Perencana Struktur Stadion Kabupa-ten Bogor.
- Tim Pendamping pembuatan Kerangka Acuan Kerja Pembangunan Galangan Kapal PT. DOK Surabaya di Brondong - Lamongan.
  - Tim Advisor PT. DOK Surabaya dalam rangka pembangunan Galangan Kapal di Brondong - Lamongan.

- 2011 - Tim Perencana Struktur PLTU Kota Baru 2 x 7 MW
- Tim Perencana Silo dan Packer Building PT. Semen
  - Gresik di Banyuwangi, Balikpapan dan Sorong.
- 2012 - Tim Perencana Struktur Dermaga PT. Semen Gresik di Banjarmasin.
- Tim Evaluator kerusakan Dermaga dan Trestle PT. Pelabuhan Penajam Banua Taka, Penajam Kalimantan Timur.
- 2013 - Tim Review Jembatan Pipa Gas PT. Bayu Buana Gemilang di Jl. Mastrip Surabaya.
- Tim Preliminary Design Monorail Bandara Soekarno – Hatta.
- 2014 - Tim Perencana Perluasan Pabrik Baja Gunawan Dian Jaya Steel Surabaya.
- 2015 - Tim Perencana Dermaga Pabrik Semen Indonesia di Banjarmasin.
- Tim Perencana Silo dan Packer Building PT. Semen Indonesia di Tuban.
  - Tim Perencana Struktur Light Rail Transit (LRT) Jakarta.
- 2016 - Tim Perencana Struktur Light Rail Transit (LRT) Jakarta. (Lanjutan)
- 2016 - Tim Perencana Dermaga Sinarmas Lubuk Gaung Dumai
- Tim Perencana Pump House milik Sinarmas Lubuk Gaung Dumai.

## **VI. PUBLIKASI SELAMA STUDI PROGRAM DOKTOR**

1. Irawan, Rahardjo, Chomaedhi, 2013, *“Beberapa Kesalahan Persepsi Dalam Penanganan Perubahan Sistem Pelat Monolit menjadi Sistem Pelat Pracetak Dua Arah (Studi Kasus Pembangunan Dermaga)”*, Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah (ATPW), ISSN 2301-6752, Program Studi Diploma Teknik Sipil FTSP – ITS Surabaya, 26 Juni 2013.
2. Mufdilawati, Irawan, Suprobo, 2014, *“Pemodelan dengan Program Berbasis Elemen Hingga dalam Analisa Sambungan antar pelat beton pracetak pada Sistem Half Slab Precast yang Dibebani Momen Dua Arah”*, Konferensi Nasional Pascasarjana Teknik Sipil (KNPTS), ISSN 2407 – 1021, Institut Teknologi Bandung, 6 Nopember 2014.
3. Irawan, Arifianto 2015, *“Studi Pemodelan Struktur Half Slab Precast dengan Pembebanan Momen Dua Arah pada Struktur Dermaga Petrokimian Gresik Menggunakan Analisis Elemen Hingga”*, Seminar Nasional Aplikasi Teknologi

Prasarana Wilayah (ATPW), ISSN 2301 – 6752, Program Studi Diploma Teknik Sipil FTSP – ITS, Surabaya, 11 Juni 2015.

4. Irawan, Iranata D, Suprobo, 2015, “ *Finite Element Modeling of Half Slab Precast Concrete Subjected Monotonic Loading*”, The 2<sup>nd</sup> Makassar International Conference on Civil Engineering, ISBN 9678-979-530-134-9, Engineering Faculty, Gowa Campus Hasanuddin University, Indonesia.
5. Irawan, Iranata D, Suprobo, 2015, “*Experimental Study of Two-Way Half Slab Precast Using Triangular Rigid Connection of Precast Concrete Component*”, International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Volume 12, Number 5 (2017) pp. 744-754.